

(19) 日本国特許庁 (J P)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル* (参考)
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/16	5 D 0 3 3
G 1 1 B 5/31		G 1 1 B 5/31	C 5 E 0 4 9
			D
H 0 1 F 10/30		H 0 1 F 10/30	

審査請求 未請求 請求項の数30 O.L (全 25 頁)

(21)出願番号	特願2001-5906(P2001-5906)	(71)出願人	000010098 アルプス電気株式会社 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
(22)出願日	平成13年1月15日(2001.1.15)	(72)発明者	川崎 光雄 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内
		(72)発明者	金田 吉弘 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内
		(74)代理人	100085453 弁理士 野▲崎▼ 照夫

最終頁に続く

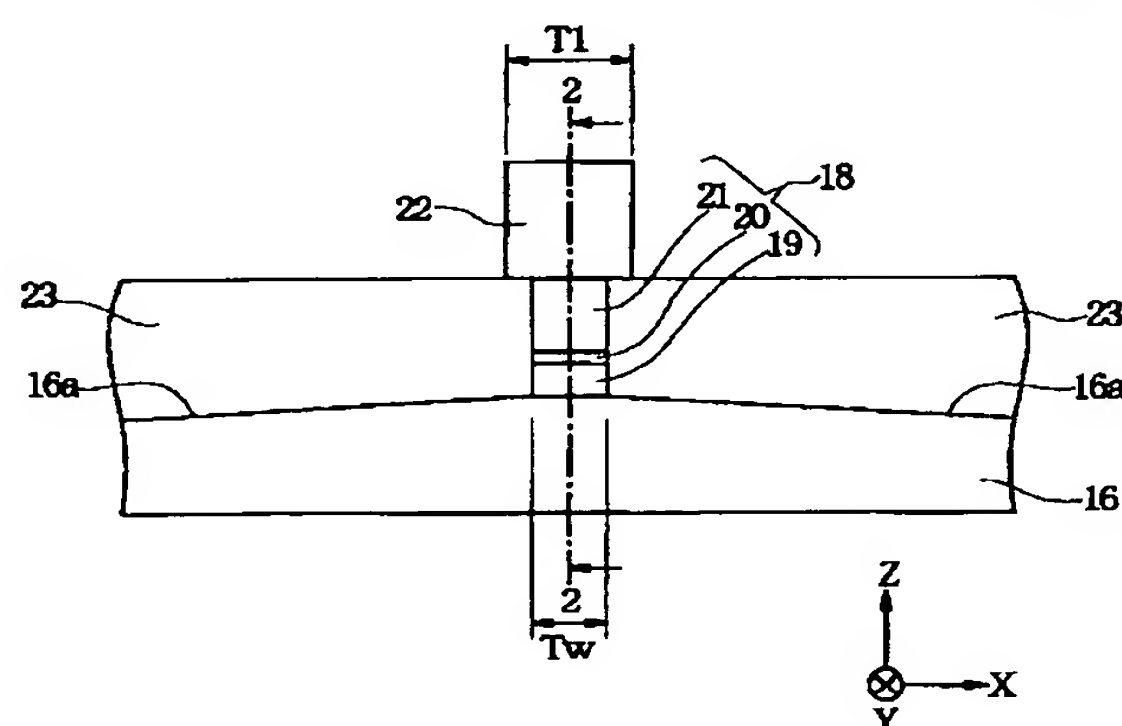
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟磁性膜とこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 下部コア層及び上部コア層として使用される NiFe 合金膜では、飽和磁束密度 B_s はせいぜい 1.9 T 程度であり、また膜面の面粗れがひどく耐食性が悪かった。

【解決手段】 下部磁極層 19 及び／または上部磁極層 21 を、C o の組成比 X が 8 質量%以上で 48 質量%以下であり、F e の組成比 Y が 50 質量%以上で 90 質量%以下であり、元素 α (ただし元素 α は、N i、C r の一方あるいは双方) の組成比 Z が 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす $C o_x F e_y \alpha_z$ 合金で形成する。これにより飽和磁束密度を 2.0 以上にでき、高記録密度化に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することができる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 組成式が $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ （元素 α は Ni 、 Cr の一方あるいは双方）で示され、 Co の組成比 X は、8 質量%以上で 48 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y は、50 質量%以上で 90 質量%以下であり、元素 α の組成比 Z は、2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことを特徴とする軟磁性膜。

【請求項 2】 前記 Co の組成比 X は 23 質量%以上で 32 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y は、58 質量%以上で 71 質量%以下であり、前記元素 α の組成比 Z は 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす請求項 1 記載の軟磁性膜。

【請求項 3】 前記 Co の組成比 X は 23.3 質量%以上で 28.3 質量%以下であり、前記 Fe の組成比 Y は、63 質量%以上で 67.5 質量%以下であり、前記元素 α の組成比 Z は、4.2 質量%以上で 13.6 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす請求項 1 記載の軟磁性膜。

【請求項 4】 Co の組成比 X 、 Fe の組成比 Y 、および元素 α の組成比 Z は $(X, Y, Z) = (26.5 \text{ 質量}\%, 64.6 \text{ 質量}\%, 8.9 \text{ 質量}\%)$ 、 $(25.5 \text{ 質量}\%, 63 \text{ 質量}\%, 11.5 \text{ 質量}\%)$ 、 $(23.3 \text{ 質量}\%, 67.5 \text{ 質量}\%, 9.2 \text{ 質量}\%)$ の 3 点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす請求項 1 記載の軟磁性膜。

【請求項 5】 前記軟磁性膜の飽和磁束密度は 2.0 T 以上である請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 6】 前記軟磁性膜の飽和磁束密度は 2.15 T 以上である請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 7】 前記飽和磁束密度は 2.2 以上である請求項 3 または 4 に記載の軟磁性膜。

【請求項 8】 前記軟磁性膜の中心線平均粗さ R_a は 5 nm 以下である請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 9】 前記軟磁性膜の表面には不動態膜が形成される請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 10】 前記軟磁性膜の上には NiFe 合金膜が重ねてメッキ形成されている請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 11】 前記軟磁性膜はメッキ形成される請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項 12】 磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、請求項 1 ないし 11 のい

2

れかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 13】 前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成され、前記下部磁極層が前記軟磁性膜により形成されている請求項 12 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 14】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、

前記上部磁極層及び／または下部磁極層は、請求項 1 ないし 11 のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 15】 前記上部磁極層は前記軟磁性膜で形成され、前記上部磁極層上に形成される上部コア層は NiFe 合金膜でメッキ形成される請求項 14 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 16】 前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が 2 層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が 2 層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップに接する磁性層が、前記軟磁性膜により形成されている請求項 12 ないし 15 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 17】 前記磁気ギャップ層に接する以外の他の磁性層は NiFe 合金でメッキ形成される請求項 16 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 18】 パルス電流を用いた電気メッキ法により、 Co の組成比 X が 8 質量%以上で 48 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y が 50 質量%以上で 90 質量%以下であり、元素 α （元素 α は Ni 、 Cr の一方あるいは双方）の組成比 Z が 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金膜をメッキ形成することを特徴とする軟磁性膜の製造方法。

【請求項 19】 メッキ浴中の Fe イオン濃度/ Co イオン濃度を 1.5 以上とし、 Fe イオン濃度/ α イオン濃度を 2 以上で 4 以下とし、前記 Co の組成比 X が 23 質量%以上で 32 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y が 58 質量%以上で 71 質量%以下であり、元素 α の組成比 Z が 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金膜をメッキ形成する請求項 18 記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項 20】 メッキ浴中の Fe イオン濃度/ Co イ

10

20

30

40

50

3

オン濃度を1.5以上とし、Feイオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $Co_xFe_y\alpha_z$ 合金膜をメッキ形成する請求項18記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項21】 メッキ浴中のFeイオン濃度/Coイオン濃度を1.7以上とし、Feイオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $Co_xFe_yNi_z$ 合金膜をメッキ形成する請求項18記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項22】 メッキ浴中にサッカリンナトリウムを混入する請求項18または21に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項23】 前記メッキ浴中に2-ブチン-1,4ジオールを混入する請求項18ないし22のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項24】 前記メッキ浴中に2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを混入する請求項18ないし23のいずれかに記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項25】 磁性材料製の下部コア層と、記録媒体との対向面で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を誘導するコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、少なくとも一方のコア層を、請求項18ないし24のいずれかに記載された製造方法による軟磁性膜でメッキ形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項26】 前記下部コア層上に記録媒体との対向面で下部磁極層を隆起形成し、前記下部磁極層を前記軟磁性膜でメッキ形成する請求項25記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項27】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部を、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで形成し、あるいは前記磁極部を、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで形成し、

このとき前記上部磁極層及び/または下部磁極層を、請

4

求項18ないし24のいずれかに記載された製造方法による軟磁性膜でメッキ形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項28】 前記上部磁極層を前記軟磁性膜でメッキ形成し、前記上部磁極層上に上部コア層を電気メッキ法によりNiFe合金膜でメッキ形成する請求項27記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項29】 前記コア層を、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分で2層以上の磁性層で形成し、あるいは前記磁極層を2層以上の磁性層で形成し、このとき前記磁性層のうち前記磁気ギャップに接する磁性層を、前記軟磁性膜によりメッキ形成する請求項25ないし28のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項30】 前記磁気ギャップ層に接する以外の他の磁性層を電気メッキ法によりNiFe合金でメッキ形成する請求項29記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば薄膜磁気ヘッドのコア材として使用される $CoFe\alpha$ （元素 α は例えばNi）合金の飽和磁束密度BsをNiFe合金のBsよりも大きくできると同時に、耐食性に優れた軟磁性膜とこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性膜の製造方法と前記薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば薄膜磁気ヘッドのコア層には、特に今後の高記録密度化に伴い、高い飽和磁束密度Bsを有する磁性材料を使用し、前記コア層のギャップ近傍に磁束を集中させて、記録密度を向上させる必要がある。

【0003】前記磁性材料には従来からNiFe合金がよく使用されている。前記NiFe合金は、直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成され、1.8T程度の飽和磁束密度Bsを得ることが可能であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】前記NiFe合金の飽和磁束密度Bsをさらに高めるには、例えば直流電流を用いた電気メッキ法に代えてパルス電流による電気メッキ法を用いる。

【0005】これにより前記NiFe合金のBsを高めることが可能になったが、飽和磁束密度Bsを2.0T以上にすることはできなかった。しかも膜面の面粗れがひどくなり、前記NiFe合金が薄膜磁気ヘッドを製造する過程で使用される様々な溶剤に侵食されるといった問題があった。

【0006】このようにNiFe合金では、高い飽和磁束密度Bsを有すると同時に耐食性にも優れた軟磁性膜を形成することはできなかった。

【0007】またNiFe合金以外によく使用される軟磁性材料としてCoFe合金膜がある。前記CoFe合

10

20

30

40

50

5

金膜は、Feの組成比を適正に調整することで、NiFe合金膜よりも高い飽和磁束密度Bsが得られる一方、次のような問題点が発生した。

【0008】薄膜磁気ヘッドや他の磁気素子の構成によっては、前記CoFe合金の上にNiFe合金を重ねる場合があるが、前記CoFe合金膜の上にNiFe合金膜を電気メッキ法によりメッキ形成するとき、CoFe合金膜がイオン化して溶け出し腐食するといった問題が発生したのである。

【0009】これは前記CoFe合金膜とNiFe合金膜との間には大きな電位差（標準電極電位差）が発生するからであり、この電位差によりいわゆる電池効果が生じて溶け出すものと考えられる。従って特に高い飽和磁束密度を有する軟磁性膜とNiFe合金膜とを重ねてメッキ形成する場合、前記軟磁性膜にCoFe合金を使用することができなかった。

【0010】またNiFe合金膜やCoFe合金膜以外にCoFeNi膜もよく使用される軟磁性膜の一つである。例えば特開平10-199726号公報には、表2に組成比の異なる4つのCoFeNi合金膜と軟磁気特性が記載されている。

【0011】しかしながらこの公報におけるCoFeNi合金膜の組成比では、いずれも飽和磁束密度Bsが2.0Tを下回り、NiFe合金膜に比べて効果的に大きな飽和磁束密度Bsを得ることができない。

【0012】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、CoFe α 合金の組成比を適正化することで、飽和磁束密度BsをNiFe合金のBsよりも高く、しかも耐食性にも優れた軟磁性膜とこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性膜の製造方法と薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することを目的としている。

【0013】また本発明は、CoFe α 合金にNiFe合金を重ねてメッキ形成しても前記CoFe α 合金が溶け出すことを防止でき、高い飽和磁束密度Bsを維持することが可能な軟磁性膜とこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド、ならびに前記軟磁性膜の製造方法と薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明における軟磁性膜は、組成式がCo $_x$ Fe $_y$ α_z （元素 α はNi、Crの一方あるいは双方）で示され、Coの組成比Xは、8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yは、50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α の組成比Zは、2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことを特徴とするものである。

【0015】この組成を有するCoFe α 合金であると、飽和磁束密度Bsを2.0T以上にすることができる。このように本発明ではNiFe合金よりも高い飽和

6

磁束密度Bsを得ることができる。

【0016】しかも結晶粒径の粗大化が抑制されて、緻密に結晶が形成され膜面の面粗れを小さくできる。したがって本発明では、2.0T以上の高い飽和磁束密度Bsを得ることができると同時に、耐食性に優れた軟磁性膜を製造することができる。

【0017】また本発明では、前記Coの組成比Xは23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yは、58質量%以上で71質量%以下であり、元素 α の組成比Zは2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0018】この組成範囲内であると、飽和磁束密度Bsを2.15T以上にすることができる。しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にすることができ、より効果的に耐食性を向上させることが可能である。

【0019】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことがより好ましい。これにより飽和磁束密度Bsを2.2T以上にできる。しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にすることができ、より効果的に耐食性を向上させることが可能である。

【0020】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは（X、Y、Z）=（26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%）、（25.5質量%、63質量%、11.5質量%）、（23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%）の3点で囲まれる範囲内であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。これにより飽和磁束密度を2.2Tよりも大きくできる。特に前記飽和磁束密度を最大で2.25Tにできることが後述する実験で確認されている。しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にすることができ、より効果的に耐食性を向上させることが可能である。

【0021】また本発明では、前記軟磁性膜の表面には不動態膜が形成されることが好ましい。前記不動態膜は緻密な酸化膜であり、前記不動態膜は、軟磁性膜中にNiやCrが含まれていることで形成される。

【0022】このように軟磁性膜の表面に不動態膜が形成されると、前記軟磁性膜の上にNiFe合金膜が重ねてメッキ形成された場合でも、前記CoFe α 合金がイオン化して溶け出すことを防止することが可能である。

【0023】従って本発明では、前記CoFe α 合金膜の上にNiFe合金膜がメッキ形成される場合でも、前記CoFe α 合金の高い飽和磁束密度Bs及び耐食性を適切に維持することができる。

7

【0024】また本発明では、前記軟磁性膜はメッキ形成されることが好ましい。これによって前記軟磁性膜を任意の膜厚によって形成でき、スパッタで形成されるよりも厚い膜厚で形成することが可能になる。

【0025】また本発明は、磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、少なくとも一方のコア層は、上記に記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0026】また本発明では、前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成され、前記下部磁極層が前記軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【0027】あるいは本発明は、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、前記上部磁極層及び／または下部磁極層は、上記に記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0028】なおこのとき、前記上部磁極層は前記軟磁性膜で形成され、前記上部磁極層上に形成される上部コア層はNiFe合金膜でメッキ形成されることが好ましい。

【0029】また本発明では、前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が2層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が2層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップに接する磁性層が、前記軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【0030】また前記磁気ギャップ層に接する以外の他の磁性層はNiFe合金でメッキ形成されることが好ましい。

【0031】上記したように本発明における軟磁性膜としてのCoFe α 合金は、飽和磁束密度Bsが2.0T以上と高く、また面粗れも小さい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図り、高記録密度化を促進させることができ、また耐食性に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。

【0032】また本発明における軟磁性膜の製造方法は、パルス電流を用いた電気メッキ法により、Coの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元

8

素 α （元素 α はNi、Crの一方あるいは双方）の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすCo $_x$ Fe $_y$ α_z 合金膜をメッキ形成することを特徴とするものである。

【0033】Fe量は、飽和磁束密度Bsに大きな影響を与える。Fe量が少ないとBsは小さくなる。特開平10-199726号公報の表2に挙げられたCoFeNi合金は、Fe量が最大でも30質量%であり、このようにFe量が少ないことが飽和磁束密度Bsが2.0Tよりも小さくなる原因の一つであると考えられる。

【0034】その一方で従来のように直流電流を用いた電気メッキ法によってメッキ形成する方法では、Fe量を増やすことが難しく、例えばメッキ浴中のFeイオン濃度を上げることで、膜中のFe量を増やそうと試みたが、これにも限界があり、2.0T以上の飽和磁束密度Bsを有するCoFeNi合金を得ることができなかった。

【0035】そこで本発明では、CoFe α 合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によってメッキ形成する。パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、CoFe α 合金膜を、少しずつメッキ形成し、直流電流を用いた電気メッキ法に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。パルス電流による電気メッキ法によれば直流電流による電気メッキ法に比べて軟磁性膜中に含まれるFe含有量の調整が容易になり、前記Fe含有量を膜中に多く取り込むことができる。

【0036】本発明によれば、Feの組成比Yを50質量%以上で90質量%以下にすることができる。これにより飽和磁束密度Bsを2.0T以上にできることが後述の実験によりわかっている。残りはCoと元素 α の組成比となるが、元素 α を入れすぎると飽和磁束密度Bsが2.0Tよりも低下することが後述の実験によってわかっている。本発明では、Coの組成比Xを8質量%以上で48質量%以下とし、元素 α の組成比Zを2質量%以上で20質量%以下とすることで、飽和磁束密度Bsが2.0T以上であり耐食性にも優れたCoFe α 合金をメッキ製造することが可能になったのである。

【0037】また本発明では、メッキ浴中のFeイオン濃度/Coイオン濃度を1.5以上とし、Feイオン濃度/ α イオン濃度を2以上で4以下とし、前記Coの組成比Xが23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yが58質量%以上で71質量%以下であり、元素 α の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすCo $_x$ Fe $_y$ α_z 合金膜をメッキ形成することが好まし

い。

【0038】後述する実験に示すように、上記のイオン濃度比で形成された $\text{CoFe}\alpha$ 合金では、飽和磁束密度 B_s を2.15 T以上にでき、また膜面の中心線平均粗さを5 nm以下にでき効果的に高い飽和磁束密度 B_s と耐食性に優れた軟磁性膜をメッキ製造することが可能になる。

【0039】また本発明では、メッキ浴中の Fe イオン濃度/ Co イオン濃度を1.5以上とし、 Fe イオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、 Co の組成比 X は23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記 Fe の組成比 Y は、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比 Z は、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金膜をメッキ形成することがより好ましい。後述する実験に示すように、上記のイオン濃度比で形成された $\text{CoFe}\alpha$ 合金では、飽和磁束密度 B_s を2.2 T以上にできる。

【0040】また本発明では、メッキ浴中の Fe イオン濃度/ Co イオン濃度を1.7以上とし、 Fe イオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、 Co の組成比 X 、 Fe の組成比 Y 、および元素 α の組成比 Z は

(X, Y, Z) = (26.5質量%, 64.6質量%, 8.9質量%), (25.5質量%, 63質量%, 11.5質量%), (23.3質量%, 67.5質量%, 9.2質量%) の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金膜をメッキ形成することが最も好ましい。後述する実験に示すように、上記のイオン濃度比で形成された $\text{CoFe}\alpha$ 合金では、飽和磁束密度 B_s を2.2 Tよりも大きくできる。

【0041】また本発明では、 $\text{CoFe}\alpha$ 合金のメッキ浴中にサッカリンナトリウムを混入することが好ましい。サッカリンナトリウム ($\text{C}_6\text{H}_4\text{CONNaSO}_2$) は応力緩和剤としての役割を有しており、したがって前記サッカリンナトリウムを混入することで $\text{CoFe}\alpha$ 合金の膜応力を低減させることが可能である。

【0042】また本発明では、前記メッキ浴中に、2-ブチン-1,4ジオールを混入することが好ましい。これによってメッキ形成された $\text{CoFe}\alpha$ 合金の結晶粒径の粗大化は抑制され、前記結晶粒径が小さくなることで結晶間に空隙が生じ難くなり、膜面の面粗れが抑制される。面粗れを抑制できることで保磁力 H_c を小さくすることも可能になる。

【0043】また本発明では、前記メッキ浴中に2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを混入することが好ましい。これによってメッキ浴中に生じる水素は、界面活性剤である2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムによって除去され、前記水素がメッキ膜に付着することによる面粗

れを抑制できる。

【0044】また前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに代えて、ラウリル硫酸ナトリウムを用いても良いが、2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを用いた方が、メッキ浴中に混入したときの泡立ちが少なく、したがって前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムをメッキ浴中に多く混入することができ、前記水素の除去をより適切に行うことが可能になる。

【0045】また本発明は、磁性材料製の下部コア層と、記録媒体との対向面で前記下部コア層と磁気ギャップを介して対向する上部コア層と、両コア層に記録磁界を誘導するコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、少なくとも一方のコア層を、上記に記載された製造方法による軟磁性膜でメッキ形成することを特徴とするものである。

【0046】また本発明では、前記下部コア層上に記録媒体との対向面で下部磁極層を隆起形成し、前記下部磁極層を前記軟磁性膜でメッキ形成することが好ましい。

【0047】また本発明は、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、前記磁極部を、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで形成し、あるいは前記磁極部を、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで形成し、このとき前記上部磁極層及び/または下部磁極層を、上記に記載された製造方法による軟磁性膜でメッキ形成することを特徴とするものである。

【0048】また本発明では、前記上部磁極層を前記軟磁性膜でメッキ形成し、前記上部磁極層上に上部コア層を電気メッキ法により NiFe 合金膜でメッキ形成することが好ましい。

【0049】また本発明では、前記コア層を、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分で2層以上の磁性層で形成し、あるいは前記磁極層を2層以上の磁性層で形成し、このとき前記磁性層のうち前記磁気ギャップに接する磁性層を、前記軟磁性膜によりメッキ形成することが好ましい。

【0050】また本発明では、前記磁気ギャップ層に接する以外の他の磁性層を電気メッキ法により NiFe 合金でメッキ形成することが好ましい。

【0051】上記したように本発明における軟磁性膜としての $\text{CoFe}\alpha$ 合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成することで、 Co の組成比 X が8質量%以上で48質量%以下であり、 Fe の組成比 Y が50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α （ただし元素 α は、 Ni 、 Cr の一方あるいは双方）の組成比 Z が2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y$

11

+Z=100質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\text{Al}_z$ 合金をメッキ形成することが可能である。

【0052】そしてこのような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することで、飽和磁束密度 B_s が高く高記録密度化を図ることができ、また耐食性にも優れた薄膜磁気ヘッドを歩留まり良く製造することが可能である。

【0053】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、図2は図1に示す薄膜磁気ヘッドを2-2線から切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【0054】本発明における薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するセラミック材のスライダ11のトレーリング側端面11aに形成されたものであり、MRヘッドh1と、書込み用のインダクティブヘッドh2とが積層された、MR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッド（以下、単に薄膜磁気ヘッドという）となっている。

【0055】MRヘッドh1は、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。

【0056】図2に示すように、前記スライダ11のトレーリング側端面11a上に Al_2O_3 膜12を介して NiFe 等からなる磁性材料製の下部シールド層13が形成され、さらにその上に絶縁材料製の下部ギャップ層14が形成されている。

【0057】前記下部ギャップ層14上には記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）に向けて、異方性磁気抵抗効果（AMR）素子、巨大磁気抵抗効果（GMR）素子あるいはトンネル型磁気抵抗効果（TMR）素子などの磁気抵抗効果素子10が形成され、さらに前記磁気抵抗効果素子10及び下部ギャップ層14上には絶縁材料製の上部ギャップ層15が形成されている。さらに前記上部ギャップ層15の上に NiFe 等の磁性材料で形成された上部シールド層16が形成されている。MRヘッドh1は、前記下部シールド層13から上部シールド層16までの積層膜で構成されている。

【0058】次に図1及び2に示す実施形態では、前記上部シールド層16がインダクティブヘッドh2の下部コア層としても兼用されており、前記下部コア層16上には、Gd決め層17が形成され、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17の先端部までの長さ寸法でギャップデプス（Gd）が規制される。前記Gd決め層17は例えば有機絶縁材料で形成される。

【0059】また前記下部コア層16の上面16aは図1に示すように、磁極部18の基端からトラック幅方向（図示X方向）に離れるにしたがって下面方向に傾く傾斜面で形成されており、これによりサイドフリンジングの発生を抑制することが可能である。

【0060】また図2に示すように、記録媒体との対向

12

面から前記Gd決め層17上にかけて磁極部18が形成されている。

【0061】前記磁極部18は下から下部磁極層19、非磁性のギャップ層20、及び上部磁極層21が積層されている。

【0062】前記下部磁極層19は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層19の上に形成されたギャップ層20は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、 NiP 、 NiPd 、 NiW 、 NiMo 、 Au 、 Pt 、 Rh 、 Pd 、 Ru 、 Cr のうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0063】なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層20には NiP が使用される。 NiP で前記ギャップ層20を形成することで前記ギャップ層20を適切に非磁性状態にできるからである。

【0064】さらに前記ギャップ層20の上に形成された上部磁極層21は、その上に形成される上部コア層22と磁氣的に接続される。

【0065】上記のようにギャップ層20がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層19、ギャップ層20及び上部磁極層21を連続メッキ形成することが可能である。

【0066】なお前記磁極部18は、ギャップ層20及び上部磁極層21の2層で構成されていてもよい。

【0067】図1に示すように、前記磁極部18はトラック幅方向（図示X方向）における幅寸法がトラック幅 T_w で形成されている。

【0068】図1及び図2に示すように、前記磁極部18のトラック幅方向（図示X方向）の両側及びハイト方向後方（図示Y方向）には絶縁層23が形成されている。前記絶縁層23の上面は前記磁極部18の上面と同一平面とされる。

【0069】図2に示すように、前記絶縁層23上にはコイル層24が螺旋状にパターン形成されている。また前記コイル層24上は有機絶縁製の絶縁層25によって覆われている。

【0070】図2に示すように、磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22が例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。図1に示すように、前記上部コア層22の先端部22aは、記録媒体との対向面でのトラック幅方向における幅寸法が T_1 で形成され、かかる幅寸法 T_1 はトラック幅 T_w よりも大きく形成されている。

【0071】また図2に示すように、前記上部コア層22の基端部22bは、下部コア層16上に形成された磁性材料製の接続層（バックギャップ層）26上に直接接続されている。

【0072】本発明では、前記上部磁極層21及び／または下部磁極層19が以下の組成比を有する軟磁性膜で

10

20

30

40

50

13

形成されている。

【0073】組成式が $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ （ただし元素 α は、Ni、Crの一方あるいは双方）で示され、Coの組成比Xは、8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yは、50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α の組成比Zは、2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす。

【0074】飽和磁束密度 B_s は、Fe量が多いほど大きくすることができる。ただしFe量が多くなりすぎると結晶粒径の粗大化により膜面の面粗れがひどくなり耐食性が低下するとともに飽和磁束密度 B_s も低下してしまう。

【0075】本発明では上記のようにFe量を50質量%以上で90質量%以下にすることで、飽和磁束密度を2.0T以上にすることができる。

【0076】Fe量を除いた残りの組成比はCoの組成比と元素 α の組成比になるが、Coを添加することで、NiとFeのみからなるパーマロイよりも高い飽和磁束密度 B_s が得られるので、Coは適量添加される必要がある。一方、元素 α が添加されると、CoとFeのみからなる磁性材料よりも飽和磁束密度 B_s が低下するので、元素 α の量は飽和磁束密度 B_s が2.0Tよりも小さくならない程度に添加される必要がある。実験により元素 α を20質量%よりも多くすると飽和磁束密度 B_s が2.0Tよりも小さくなることがわかった。

【0077】上記の観点を踏まえて本発明では、Coの組成比Xを、8質量%以上で48質量%以下とし、Feの組成比Yを、50質量%以上で90質量%以下とし、元素 α の組成比Zを、2質量%以上で20質量%以下とした。これにより飽和磁束密度 B_s を2.0T以上にすることができる。また本発明では安定して高い飽和磁束密度を得ることができる。

【0078】また結晶が緻密に形成されることで膜面の面粗れを少なくでき、耐食性を向上させることができ、さらに保磁力 H_c を小さくすることができる。具体的には前記保磁力を1580 (A/m) 以下にすることが可能である。

【0079】また $\text{CoFe}\alpha$ 合金が上記組成範囲内であると、15 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) 以上の比抵抗を得ることができる。また膜応力を400MPa以下にすることができる。さらに異方性磁界 H_k に関しては、従来から軟磁性材料として一般的に使用されているNiFe合金と同程度の異方性磁界 H_k を得ることができる。

【0080】また本発明では、前記Coの組成比Xは23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yは、58質量%以上で71質量%以下であり、元素 α の組成比Zは2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことが好ましい。

14

【0081】これにより飽和磁束密度 B_s をさらに高めることができ、具体的には2.15T以上の飽和磁束密度 B_s を得ることができる。また膜面の中心線平均粗さRaを確実に5nm以下にすることができる。したがってさらに効果的に高い飽和磁束密度 B_s を有し、耐食性に優れた軟磁性膜を製造することが可能である。

【0082】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことがより好ましい。これにより飽和磁束密度を2.2T以上にできる。また膜面の中心線平均粗さRaを確実に5nm以下にすることができる。

【0083】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。これにより飽和磁束密度を2.2Tよりも大きくできる。また膜面の中心線平均粗さRaを確実に5nm以下にすることができる。例えばFeの組成比を66.1質量%、Coの組成比を24.6質量%、元素 α の組成比を9.3質量%とすると飽和磁束密度を2.25Tにできることが確認されている。

【0084】なお前記元素 α には、Niを選択することが好ましい。すなわち上部磁極層21及び／または下部磁極層19を、 CoFeNi 合金で形成することが好ましい。前記 CoFeNi 合金を上記組成範囲内で形成することにより、飽和磁束密度 B_s を確実に2.0T以上にできる。またNiの添加により特に膜応力を小さくすることが可能である。

【0085】以上のように本発明では、上記した $\text{CoFe}\alpha$ 合金は、飽和磁束密度 B_s が2.0T以上と高い値を得ることが可能であるので、上部磁極層21及び／または下部磁極層19に使用することにより、前記磁極層のギャップ近傍に磁束を集中させて記録密度を向上させることが可能である。したがって今後の高記録密度化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。しかも上記の組成範囲内で形成された $\text{CoFe}\alpha$ 合金は膜面の面粗れが少なく、耐食性に優れ、また低保磁力 H_c である。

【0086】図3は、本発明における第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの構造を示す部分正面図、図4は図3に示す4-4線から薄膜磁気ヘッドを切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【0087】この実施形態では、MRヘッドh1の構造

15

は図1及び図2と同じである。図3に示すように下部コア層16上には、絶縁層31が形成されている。前記絶縁層31には、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）後方に所定の長さ寸法で形成されたトラック幅形成溝31aが形成されている。前記トラック幅形成溝31aは記録媒体との対向面においてトラック幅Twで形成されている（図3を参照のこと）。

【0088】前記トラック幅形成溝31aには、下から下部磁極層32、非磁性のギャップ層33、及び上部磁極層34が積層された磁極部30が形成されている。

【0089】前記下部磁極層32は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層32の上に形成されたギャップ層33は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiMo、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0090】なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層33にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層33を形成することで前記ギャップ層33を適切に非磁性状態にできるからである。

【0091】なお前記磁極部30は、ギャップ層33及び上部磁極層34の2層で構成されていてもよい。

【0092】前記ギャップ層33の上には、記録媒体との対向面からギャップデプス（Gd）だけ離れた位置から絶縁層31上にかけてGd決め層37が形成されている。

【0093】さらに前記ギャップ層33の上に形成された上部磁極層34は、その上に形成される上部コア層40と磁気的に接続される。

【0094】上記のようにギャップ層33がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層32、ギャップ層33及び上部磁極層34を連続メッキ形成することが可能である。

【0095】図4に示すように前記絶縁層31の上にはコイル層38が螺旋状にパターン形成されている。前記コイル層38は有機絶縁材料などで形成された絶縁層39によって覆われている。

【0096】図3に示すように、トラック幅規制溝31aのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面には、前記上部磁極層34の上面から前記絶縁層31の上面31bにかけて下部コア層16から離れる方向にしたがって徐々に幅寸法が広がる傾斜面31c、31cが形成されている。

【0097】そして図3に示すように上部コア層40の先端部40aは、前記上部磁極層34上面から前記傾斜面31c、31c上にかけて下部コア層16から離れる方向に形成されている。

【0098】図4に示すように前記上部コア層40は、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）にか

16

けて絶縁層39上に形成され、前記上部コア層40の基端部40bは下部コア層16上に直接形成されている。

【0099】図3及び図4に示す第2実施形態では、下部磁極層32及び／または上部磁極層34が、Coの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元素α（ただし元素αは、Ni、Crの一方あるいは双方）の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たした $Co_xFe_y\alpha_z$ で形成される。

【0100】本発明では、前記Coの組成比Xは23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yは、58質量%以上で71質量%以下であり、元素αの組成比Zは2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0101】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素αの組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことがより好ましい。

【0102】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素αの組成比Zは（X、Y、Z）=（26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%）、（25.5質量%、63質量%、11.5質量%）、（23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%）の3点で囲まれる範囲内であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。

【0103】前記下部磁極層32及び上部磁極層34が2.0T以上の高い飽和磁束密度Bsを有する上記したCoFeα合金で形成されることで、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ、記録密度を向上させることができるから、高記録密度化に優れた薄膜磁気ヘッドの製造が可能である。なお前記飽和磁束密度Bsは2.2T以上であることがより好ましい。

【0104】また前記CoFeα合金は、上記組成範囲内で形成されることで結晶が緻密に形成され、膜面での面粗れを抑制でき、耐食性を向上させることができる。本発明では、前記膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にすることができる。また保磁力Hcを1580（A/m）以下に小さくできる。

【0105】図1ないし図4に示す実施形態では、いずれも下部コア層16と上部コア層22、40間に磁極部18、30を有し、前記磁極部18、30を構成する下部磁極層19、32及び／または上部磁極層21、34は、Coの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元素α（ただし元素αは、Ni、Crの一方あるいは双方）の組成比Zが2質量%以上で20質量%

17

以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たした $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ で形成されるが、特に本発明では前記上部磁極層 21, 34 が前記 $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金で形成され、前記上部磁極層 21, 34 の上に重ねて形成される上部コア層 22, 40 が NiFe 合金でメッキ形成されていることが好ましい。

【0106】前記上部コア層 22, 40 は飽和磁束密度 B_s よりもむしろ比抵抗が高いことが好ましい。高周波帯域での記録時において、上部コア層 22, 40 から前記上部磁極層 21, 34 に適切に記録磁界を導くには、前記上部コア層 22, 40 の部分で渦電流損失が発生することを抑制する必要があるため、本発明では、 $\text{CoFe}\alpha$ 合金よりも比抵抗の高い NiFe 合金を上部コア層 22, 40 に用いることが、高記録密度化を図る上で効果的である。なお前記上部コア層 22, 40 には例えば $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 合金が使用される。

【0107】ところで本発明では上部磁極層 21, 34 として $\text{CoFe}\alpha$ 合金を使用し、上部コア層 22, 40 として NiFe 合金を使用しているが、これにより前記上部コア層 22, 40 を電気メッキ法にてメッキ形成しているとき、前記上部磁極層 21, 34 がイオン化されて溶け出すのを適切に防止することができる。

【0108】本発明における元素 α は、緻密な酸化膜となる不動態膜を作る Ni や Cr であり、これらが添加されることで、前記上部磁極層 21, 34 の表面には不動態膜が形成され、上部磁極層 21, 34 のイオン化を阻止することが可能である。

【0109】これにより上部磁極層 21, 34 のイオン化を適切に抑制でき、高い飽和磁束密度 B_s 及び耐食性に優れた磁極を維持することができる。

【0110】なお下部磁極層 19, 32 も $\text{CoFe}\alpha$ 合金で形成されることが好ましく、これにより上部コア層 22, 40 をメッキ形成するときの、前記下部磁極層 19, 32 のイオン化を効果的に抑制することが可能である。

【0111】また本発明では、前記下部磁極層 19, 32 及び／または上部磁極層 21, 34 は 2 層以上の磁性層が積層されて構成されていてもよい。かかる構成の場合、ギャップ層 20, 33 に接する側の磁性層が上記組成範囲の $\text{CoFe}\alpha$ 合金で形成されることが好ましい。これによってギャップ近傍に磁束をより集中させることができ、今後の高記録密度化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。

【0112】また前記ギャップ層 20, 33 に接する磁性層以外の他の磁性層は、如何なる材質、組成比の磁性材料で形成されても良いが、前記ギャップ層 20, 33 に接する側の磁性層よりも飽和磁束密度 B_s が小さくなることが好ましく、例えば前記他の磁性層は NiFe 合金で形成されることが好ましい。これにより前記他の磁性層からギャップ層 20, 33 に接する側の磁性層に適

18

切に記録磁界が導かれ高記録密度化を図ることが可能になると共に、前記他の磁性層をメッキ形成するときの、前記ギャップ層 20, 33 に接する側の磁性層のイオン化を適切に防止することができる。

【0113】なお前記他の磁性層は NiFe 合金で形成される必要はなく、 $\text{CoFe}\alpha$ 合金などで形成されても良いが、ギャップ層 20, 33 に接する側の磁性層よりも低い飽和磁束密度 B_s を有するように組成比を適切に調整することが好ましい。

【0114】また下部磁極層 19, 32 の飽和磁束密度 B_s は高いことが好ましいが、上部磁極層 21, 34 の飽和磁束密度 B_s よりも低くすることにより、下部磁極層と上部磁極層との間における洩れ磁界を磁化反転しやすくすると、より記録媒体への信号の書き込み密度を高くできる。

【0115】図 5 は本発明における第 3 実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。この実施形態では MR ヘッド h_1 が図 1 と同じである。図 5 に示すように下部コア層 16 にはアルミナなどによる磁気ギャップ層（非磁性材料層）41 が形成されている。さらに前記磁気ギャップ層 41 の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層 43 を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層 44 が設けられている。なお、前記コイル層 44 は Cu （銅）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0116】さらに、前記コイル層 44 はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層 45 に囲まれ、前記絶縁層 45 の上に軟磁性材料製の上部コア層 46 が形成されている。

【0117】図 5 に示すように、前記上部コア層 46 の先端部 46a は、記録媒体との対向面において、下部コア層 16 の上に前記磁気ギャップ層 41 を介して対向し、磁気ギャップ長 G_1 の磁気ギャップが形成されており、上部コア層 46 の基端部 46b は図 5 に示すように、下部コア層 16 と磁氣的に接続されている。

【0118】本発明では、下部コア層 16 及び／または上部コア層 46 は、 Co の組成比 X が 8 質量%以上で 48 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y が 50 質量%以上で 90 質量%以下であり、元素 α （ただし元素 α は、 Ni 、 Cr の一方あるいは双方）の組成比 Z が 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金で形成されている。

【0119】また前記 Co の組成比 X は 23 質量%以上で 32 質量%以下であり、 Fe の組成比 Y は、58 質量%以上で 71 質量%以下であり、元素 α の組成比 Z は 2 質量%以上で 20 質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0120】また本発明では、前記 Co の組成比 X は 23.3 質量%以上で 28.3 質量%以下であり、前記 Fe

10

20

30

40

50

19

eの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことがより好ましい。

【0121】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。

【0122】上記組成比で形成されたCoFe α 合金は2.0T以上の飽和磁束密度Bsを有し、また好ましい組成比では2.15T以上の高い飽和磁束密度Bsを得ることができ、より好ましい組成比では2.2T以上の高い飽和磁束密度Bsを得ることができ、最も好ましい組成比では2.2Tよりも大きい飽和磁束密度Bsを得ることができる。

【0123】上部コア層46及び／または下部コア層16が、2.0T以上の高い飽和磁束密度Bsを有する上記したCoFe α 合金で形成されることで、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ、記録密度を向上させることができるから、高記録密度化に優れた薄膜磁気ヘッドの製造が可能である。

【0124】また前記CoFe α 合金は、上記組成範囲内で形成されることで結晶が緻密に形成され、膜面での面粗れを抑制でき、耐食性を向上させることができる。本発明では、前記膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にすることができる。また保磁力Hcを小さくできる。具体的には前記保磁力Hcを1580(A/m)以下にすることができる。

【0125】またCoFe α 合金が上記組成範囲内であると、15($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)以上の比抵抗を得ることができる。また膜応力を400MPa以下にすることができる。さらに異方性磁界Hkに関しては、従来から軟磁性材料として一般的に使用されているNiFe合金と同程度の異方性磁界Hkを得ることができる。

【0126】図6は本発明における第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。図5との違いは、上部コア層46が2層の磁性層で積層されて構成されていることである。

【0127】前記上部コア層46は、高い飽和磁束密度Bsを有する高Bs層47とその上に積層された上層48とで構成されている。

【0128】前記高Bs層47は、Coの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α (ただし元素 α は、Ni、Crの一方あるいは双方)の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$

20

合金で形成されている。

【0129】また前記Coの組成比Xは23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yは、58質量%以上で71質量%以下であり、元素 α の組成比Zは2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0130】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことがより好ましい。

【0131】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。

【0132】これにより前記高Bs層47の飽和磁束密度Bsを少なくとも2.0以上にできる。また好ましくは前記Bsを2.15T以上にすることができ、より好ましくは前記Bsを2.2T以上にすることができ、最も好ましくは前記Bsを2.2Tよりも大きくすることができる。

【0133】前記CoFe α 合金で形成された高Bs層47は結晶が緻密に形成されることで、前記高Bs層47の膜面の面粗れを小さくでき、よって耐食性を向上させることができ、しかも保磁力Hcを小さくすることができる。具体的には、前記膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にでき、前記保磁力Hcを1580(A/m)以下にすることができる。さらにCoFe α 合金を使用した場合には比抵抗を15($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)以上にできる。また膜応力を400MPa以下にできる。

【0134】前記上部コア層46を構成する上層48は、高Bs層47に比べて飽和磁束密度Bsが小さくなっているものの、前記高Bs層47よりも比抵抗が高くなっている。前記上層48は例えばNi₈₀Fe₂₀合金で形成される。

【0135】前記NiFe合金は本発明におけるCoFe α 合金よりも飽和磁束密度Bsが低くなるものの比抵抗は高くなる。これによって前記高Bs層47が前記上層48よりも高い飽和磁束密度Bsを有し、ギャップ近傍に磁束を集中させて、記録分解能を向上させることが可能になる。なお前記上層48はNiFe合金で形成される必要はなく、CoFe α 合金などで形成されてもよいが、かかる場合、上層48の飽和磁束密度Bsが高Bs層47の飽和磁束密度Bsよりも小さくなるように組成比を調整する必要がある。

【0136】また前記上部コア層46に比抵抗の高い上

21

層48が設けられたことで、記録周波数が上昇することにより発生する渦電流による損失を低減させることができ、今後の高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0137】また本発明では図6に示すように、高Bs層47が、ギャップ層41と対向する下層側に形成されていることが好ましい。また前記高Bs層47はギャップ層41上に直接接する上部コア層46の先端部46aのみに形成されていてもよい。

【0138】また下部コア層16も、高Bs層と高比抵抗層の2層で構成されていてもよい。かかる構成の場合、高比抵抗層の上に高Bs層が積層され、前記高Bs層がギャップ層41を介して上部コア層46と対向する。

【0139】また図6に示す実施形態では、上部コア層46が2層の積層構造となっているが、3層以上であってもよい。かかる構成の場合、高Bs層47は、磁気ギャップ層41に接する側に形成されることが好ましい。

【0140】また高Bs層47を本発明におけるCoFe α 合金で形成し、上層48をNiFe合金で電気メッキ法にてメッキ形成するとき、前記高Bs層47の表面にはNiやCrの不動態膜が形成されているため、前記高Bs層47がイオン化されて溶け出す現象を適切に抑制することができる。

【0141】図7は本発明における第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。図7の実施形態ではMRヘッドh1の構成は図1と同じである。図7に示すように下部コア層16の上に下部磁極層50が記録媒体との対向面から隆起形成されている。前記下部磁極層50のハイト方向後方（図示Y方向）には絶縁層51が形成されている。前記絶縁層51の上面は、凹形状となり、コイル形成面51aが形成されている。

【0142】前記下部磁極層50上から前記絶縁層51上にかけてギャップ層52が形成されている。さらに前記絶縁層51のコイル形成面51a上にはギャップ層52を介してコイル層53が形成されている。前記コイル層53上は有機絶縁製の絶縁層54によって覆われている。

【0143】図7に示すように上部コア層55は、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。

【0144】前記上部コア層55の先端部55aは前記ギャップ層52上に下部磁極層50と対向して形成される。前記上部コア層55の基端部55bは、下部コア層16上に形成された持上げ層56を介して前記下部コア層16に磁氣的に接続される。

【0145】この実施形態においては、上部コア層55及び／または下部磁極層50はCoの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α （ただし元

22

素 α は、Ni、Crの一方あるいは双方）の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすCo_XFe_Y α _Z合金で形成されている。

【0146】また前記Coの組成比Xは23質量%以上で32質量%以下であり、Feの組成比Yは、58質量%以上で71質量%以下であり、元素 α の組成比Zは2質量%以上で20質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0147】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことがより好ましい。

【0148】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは（X、Y、Z）=（26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%）、（25.5質量%、63質量%、11.5質量%）、（23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%）の3点で囲まれる範囲内であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。

【0149】図7では下部磁極層50が形成され、前記下部磁極層50が下部コア層16よりも高い飽和磁束密度Bsを有する前記CoFe α 合金で形成されると、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ記録密度の向上を図ることが可能である。

【0150】また上部コア層55は、その全体が前記CoFe α 合金で形成されていてもよいが、図6と同様に前記上部コア層55が2層以上の磁性層の積層構造であり、そのギャップ層52と対向する側が高Bs層として前記CoFe α 合金膜で形成されていてもよい。またかかる場合、前記上部コア層55の先端部55aのみが2層以上の磁性層の積層構造で形成され、前記ギャップ層52上に接して高Bs層が形成されていることが、ギャップ近傍に磁束を集中させ、記録密度を向上させる点からして好ましい。

【0151】なお本発明では、図1ないし図7に示す各実施形態においてCoFe α 合金膜はメッキ形成されていることが好ましい。本発明では前記CoFe α 合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成することができる。

【0152】また前記CoFe α 合金をメッキ形成することで任意の膜厚で形成でき、スパッタで形成するよりも厚い膜厚で形成することが可能になる。

【0153】また各実施形態において、符号16の層は、下部コア層と上部シールド層の兼用層となっているが、前記下部コア層と上部シールド層とが別々に形成されていてもよい。かかる場合、前記下部コア層と上部シールド層間には絶縁層を介在させる。

23

【0154】次に図1ないし図7に示す薄膜磁気ヘッドの一般的な製造方法について以下に説明する。

【0155】図1及び図2に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上にGd決め層17を形成した後、レジストを用いて記録媒体との対向面からハイト方向に下部磁極層19、非磁性のギャップ層20及び上部磁極層21から成る磁極部18を連続メッキによって形成する。次に前記磁極部18のハイト方向後方に絶縁層23を形成した後、例えばCMP技術を用いて前記磁極部18の上面と前記絶縁層23の上面とを同一平面に平坦化する。10 前記絶縁層23の上にコイル層24を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層24の上に絶縁層25を形成する。そして前記磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22を例えばフレームメッキ法により形成する。

【0156】図3及び図4に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上に絶縁層31を形成した後、レジストを用いて前記絶縁層31の記録媒体との対向面からハイト方向後方に向けてトラック幅形成溝31aを形成する。さらに前記トラック幅形成溝31aに図3に示す傾斜面20 31c、31cを形成する。

【0157】前記トラック幅形成溝31a内に、下部磁極層32、非磁性のギャップ層33を形成する。前記ギャップ層33上から絶縁層31上にGd決め層37を形成した後、前記ギャップ層33上に上部磁極層34をメッキ形成する。次に前記絶縁層31上にコイル層38を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層38上に絶縁層39を形成する。そして前記上部磁極層34上から絶縁層39上にかけて上部コア層40を例えばフレームメッキ法にて形成する。30

【0158】図5、図6に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にギャップ層41を形成し、さらに絶縁層43を形成した後、前記絶縁層43の上にコイル層44をパターン形成する。前記コイル層44上に絶縁層45を形成した後、ギャップ層41から前記絶縁層45上にかけて上部コア層46をフレームメッキ法によりパターン形成する。

【0159】図7に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にレジストを用いて下部磁極層50を形成し、さらに前記下部磁極層50のハイト方向後方に絶縁層51を形成する。前記下部磁極層50と前記絶縁層51の上面はCMP技術によって一旦平坦化された後、前記絶縁層51の上面に凹形状となるコイル形成面51aを形成する。次に前記下部磁極層50上から前記絶縁層51上にギャップ層52を形成した後、前記ギャップ層52上にコイル層53を螺旋状にパターン形成し、さらに前記コイル層53上に絶縁層54を形成する。そして、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて上部コア層55を例えばフレームメッキ法によりパターン形成する。50

24

【0160】次に本発明における、Coの組成比Xが8質量%以上で48質量%以下であり、Feの組成比Yが50質量%以上で90質量%以下であり、元素 α （ただし元素 α は、Ni、Crの一方あるいは双方）の組成比Zが2質量%以上で20質量%以下であり、組成比 $X+Y+Z=100$ 質量%なる関係を満たす $Co_xFe_y\alpha_z$ 合金のメッキ形成法について以下に説明する。

【0161】本発明では、前記 $CoFe\alpha$ 合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成するものである。

【0162】パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、 $CoFe\alpha$ 合金膜を、少しずつメッキ形成し、そしてメッキ浴に占めるFeイオンの濃度を増やしても、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。

【0163】なおパルス電流は、例えば数秒サイクルでON/OFFを繰返し、デューティ比を0.1~0.5程度にすることが好ましい。パルス電流の条件は、 $CoFe\alpha$ 合金の平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さRaに影響を与える。

【0164】上記のようにパルス電流による電気メッキ法では、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することができるから、直流電流による電気メッキ法に比べて $CoFe\alpha$ 合金に含まれるFe含有量を従来よりも増やすことが可能になる。

【0165】本発明では、前記パルス電流による電気メッキ法により、従来の直流電流を用いた電気メッキ法に比べて、組成比の調整の自由度が増し、 $CoFe\alpha$ 合金のCoの組成比Xを8質量%以上で48質量%以下に容易に調整でき、Feの組成比Yを50質量%以上で90質量%以下に容易に調整でき、元素 α の組成比Zを2質量%以上で20質量%以下に容易に調整することが可能である。

【0166】また本発明では、メッキ浴組成を以下のように限定することで、前記Coの組成比Xを23質量%以上で32質量%以下、Feの組成比Yを、58質量%以上で71質量%以下、元素 α の組成比Zを2質量%以上で20質量%以下にでき、かかる組成比で形成された $CoFe\alpha$ 合金では、飽和磁束密度Bsを2.15T以上にでき、しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にでき、効果的に高い飽和磁束密度を有し、しかも耐食性に優れた軟磁性膜を製造することができる。

【0167】本発明では、Feイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上にし、Feイオン濃度/ α イオン濃度の比率を2以上で4以下にする。後述の実験結果50に示すように、上記比率であると $CoFe\alpha$ 合金のFe

25

組成比を5.8質量%以上で7.1質量%以下にでき、Co組成比を、2.3質量%以上で3.2質量%以下にできる。

【0168】一方、上記のイオン濃度の比率から外れるメッキ浴組成であると、Fe量が5.0質量%を下回る場合があり、2.0T以上の飽和磁束密度Bsを得られないことがあり、安定して高い飽和磁束密度Bsを得ることができなくなる。さらに膜面の中心線平均粗さRaは5nmよりも大きくなる場合があり、耐食性が悪化する可能性がある。

【0169】また本発明では、Feイオン濃度は、従来よりも低いことが好ましく、具体的には1.0g/l以上で2.0g/l以下で設定されることが好ましい。従来では、前記Feイオン濃度は例えば4.0g/l程度であったが、低濃度にする事で攪拌効果を上げることができ、より適切にCoFe α 合金のFe含有量を大きくすることができるとともに緻密な結晶を形成でき、耐食性に優れたCoFe α 合金にすることができる。

【0170】また本発明では、メッキ浴中のFeイオン濃度/Coイオン濃度を1.5以上とし、Feイオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、6.3質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素 α の組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすCo_xFe_y α _z合金膜をメッキ形成することが好ましい。

【0171】かかる組成比で形成されたCoFe α 合金では、飽和磁束密度Bsを2.2T以上にでき、しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にでき、効果的に高い飽和磁束密度を有し、しかも耐食性に優れた軟磁性膜を製造することができる。

【0172】また本発明では、メッキ浴中のFeイオン濃度/Coイオン濃度を1.7以上とし、Feイオン濃度/ α イオン濃度を2以上で3.4以下とし、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素 α の組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内であり、組成比X+Y+Z=100質量%なる関係を満たすCo_xFe_yNi_z合金膜をメッキ形成することが最も好ましい。

【0173】かかる組成比で形成されたCoFe α 合金では、飽和磁束密度Bsを2.2Tよりも大きくでき、しかも膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下にでき、効果的に高い飽和磁束密度を有し、しかも耐食性に優れた軟磁性膜を製造することができる。特にFeの組成比を66.1質量%、Coの組成比を24.6質量%、元素 α の組成比を9.3質量%とすれば、飽和磁束密度Bsを2.25Tにまで大きくできることが確認されている。

26

【0174】また本発明では、CoFe α 合金のメッキ浴中にサッカリンナトリウム(C₆H₄CONNaSO₂)を混入することが好ましい。前記サッカリンナトリウムは応力緩和剤の役割を持っており、メッキ形成されたCoFe α 合金の膜応力を低減させることが可能になる。なお元素 α にNiを選択すると、より膜応力を低減させることが可能である。

【0175】また上記したCoFe α 合金のメッキ浴中に、2-ブチン-1,4ジオールを混入することが好ましい。これにより前記CoFe α 合金の結晶粒径の粗大化を抑制し保磁力Hcを低減させることができる。

【0176】また本発明では、前記CoFe α 合金のメッキ浴中に2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを混入することが好ましい。

【0177】前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムは界面活性剤である。前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムの混入によって、CoFe α 合金のメッキ形成時に発生する水素を除去でき、メッキ膜に前記水素が付着することを防止することができる。前記メッキ膜に水素が付着すると、結晶が緻密に形成されずその結果、膜面の面粗れをひどくする原因となるため、本発明のように前記水素を除去することで、前記メッキ膜の膜面の面粗れを小さくでき、保磁力Hcを小さくすることが可能である。

【0178】なお前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに代えてラウリル硫酸ナトリウムを混入してもよいが、前記ラウリル硫酸ナトリウムは、前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに比べてメッキ浴中に入れたとき泡立ちやすいために、前記ラウリル硫酸ナトリウムを効果的に水素を除去できる程度に混入することが難しい。このため本発明では、前記ラウリル硫酸ナトリウムに比べて泡立ちにくい2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを水素を効果的に除去できる程度に混入することができて好ましい。

【0179】また前記メッキ浴中にホウ酸を混入することが好ましい。ホウ酸は、電極表面のpH緩衝剤となり、またメッキ膜の光沢を出すのに効果的である。

【0180】なお本発明では、CoFe α 合金の用途として図1ないし図7に示す薄膜磁気ヘッドを提示したが、この用途に限定されるものではない。例えば前記CoFe α 合金は、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子等にも使用可能である。

【0181】

【実施例】本発明では、以下に示されたメッキ浴からパルス電流による電気メッキ法を用いてCoFeNi合金をメッキ形成し、この際、前記CoFeNi合金の組成比と軟磁気特性及び膜特性との関係について調べた。

【0182】まずFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率が1.5よりも小さく、Feイオン濃度/Niイオン濃度の比率が2よりも小さくなる場合のメッキ浴組成は

27

以下の表 1 に示されている。

【0183】

Fe イオン / Co イオンが 1.5 よりも小で、Fe イオン / Ni イオンが 2 よりも小の浴

Fe イオン	20	g/l
Co イオン	1.35	g/l
Ni イオン	2.23	g/l
サッカリンナトリウム	0.8	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.15	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	1	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0184】表 1 に示すメッキ浴では、Fe イオン濃度を 2 g/l、Co イオン濃度を 1.35 g/l、さらに Ni イオン濃度を 2.23 g/l とした。またメッキ浴に表 1 に表示された量のサッカリンナトリウム、2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム、2-ブチン-1, 4-ジオール、ほう酸、および塩化ナトリウムを添加した。

【表 1】

28

【0185】次に Fe イオン濃度 / Co イオン濃度の比率が 1.5 以上で、Fe イオン濃度 / Ni イオン濃度の比率が 2 よりも小さくなる場合のメッキ浴組成は以下の表 2 に示されている。

【0186】

【表 2】

Fe イオン / Co イオンが 1.5 以上で、Fe イオン / Ni イオンが 2 よりも小の浴

Fe イオン	20, 3.72	g/l
Co イオン	1.26, 2.38	g/l
Ni イオン	2.0, 3.29	g/l
サッカリンナトリウム	0.6, 1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.15, 0.4	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	0, 1.6	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0187】表 2 に示すメッキ浴では、Fe イオン濃度を 2 g/l、Co イオン濃度を 1.26 g/l、さらに Ni イオン濃度を 2 g/l とした。また他のメッキ浴では Fe イオン濃度を 3.72 g/l、Co イオン濃度を 2.38 g/l、さらに Ni イオン濃度を 3.29 g/l とした。また上記各メッキ浴から、サッカリンナトリウム、2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム、2-ブチン-1, 4-ジオールの添加量が表にあるように異なる複

数のメッキ浴を作った。そして各複数のメッキ浴組成から CoFeNi 合金を製造した。

【0188】次に Fe イオン濃度 / Co イオン濃度の比率が 1.5 以上で、Fe イオン濃度 / Ni イオン濃度の比率が 2 以上で 4 以下となる場合のメッキ浴組成は以下の表 3 に示されている。

【0189】

【表 3】

Fe イオン / Co イオンが 1.5 以上で、Fe イオン / Ni イオンが 2 以上 4 以下の浴

Fe イオン	1.17, 1.29, 1.41, 1.61, 1.81	g/l
Co イオン	0.57, 0.69, 0.73, 0.87	g/l
Ni イオン	0.35, 0.45, 0.49, 0.54	g/l
サッカリンナトリウム	0.8, 1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.15, 0.3	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	0, 1.2	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0190】表 3 に示すメッキ浴では、Fe イオン濃度 50 を 1.17 g/l、Co イオン濃度を 0.57 g/l、

29

さらにNiイオン濃度を0.35 g/lとした。他のメッキ浴では、Feイオン濃度を1.17 g/l、Coイオン濃度を0.73 g/l、さらにNiイオン濃度を0.45 g/lとした。また他のメッキ浴では、Feイオン濃度を1.29 g/l、Coイオン濃度を0.73 g/lあるいは0.87、さらにNiイオン濃度を0.45 g/lあるいは0.49 g/lとした。また他のメッキ浴では、Feイオン濃度を1.41 g/l、Coイオン濃度を0.87 g/lあるいは0.69 g/l、さらにNiイオン濃度を0.54 g/lあるいは0.35 g/lとした。また他のメッキ浴では、Feイオン濃度を1.61 g/l、Coイオン濃度を0.87 g/l、さらにNiイオン濃度を0.54 g/lとした。また他

30

のメッキ浴では、Feイオン濃度を1.81 g/l、Coイオン濃度を0.87 g/l、さらにNiイオン濃度を0.54 g/lとした。また上記各メッキ浴から、サッカリンナトリウム、2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム、2-ブチン-1, 4-ジオールの添加量が表にあるように異なる複数のメッキ浴を作った。そして各複数のメッキ浴組成からCoFeNi合金を製造した。

【0191】次にFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率が1.5以上で、Feイオン濃度/Niイオン濃度の比率が3.4以下となる場合のメッキ浴組成は以下の表4に示されている。

【0192】

【表4】

Feイオン/Coイオンが1.5以上で、Feイオン/Niイオンが3.4以下の浴

Feイオン	1.17, 1.29, 1.60, 1.81	g/l
Coイオン	0.73, 0.87	g/l
Niイオン	0.45, 0.49, 0.54	g/l
サッカリンナトリウム	1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.3	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	1.2	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0193】次にFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率が1.7以上で、Feイオン濃度/Niイオン濃度の比率が3.4以下となる場合のメッキ浴組成は以下の表

5に示されている。

【0194】

【表5】

Feイオン/Coイオンが1.7以上で、Feイオン/Niイオンが3.4以下の浴

Feイオン	1.29, 1.60, 1.81	g/l
Coイオン	0.73, 0.87	g/l
Niイオン	0.45, 0.49, 0.54	g/l
サッカリンナトリウム	1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.3	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	1.2	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0195】次にFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率が1.8で、Feイオン濃度/Niイオン濃度の比率が3.0以下となる場合のメッキ浴組成は以下の表6に

示されている。

【0196】

【表6】

31

Fe イオン/Co イオンが 1.8 の裕、Fe イオン/Ni イオンが 3.0 以下の裕

Fe イオン	1.6	g/l
Co イオン	0.87	g/l
Ni イオン	0.54	g/l
サッカリンナトリウム	1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.3	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	1.2	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0197】次に Fe イオン濃度/Co イオン濃度の比率が 1.5 以上で、Fe イオン濃度/Ni イオン濃度の比率が 4 よりも大きくなる場合のメッキ浴組成は以下の

Fe イオン/Co イオンが 1.5 以上で、Fe イオン/Ni イオンが 4 よりも大の裕

Fe イオン	1.17	g/l
Co イオン	0.73	g/l
Ni イオン	0.11	g/l
サッカリンナトリウム	1.2	g/l
2-エチルヘキシル硫酸ナトリウム	0.3	g/l
2-ブチン-1, 4-ジオール	1.2	g/l
ほう酸	25	g/l
塩化ナトリウム	25	g/l

【0199】また表 1 ないし表 7 のメッキ浴組成から CoFeNi 合金をメッキ形成するとき、以下の成膜条件を共通にした。

【0200】まずメッキ浴温度を 30℃ に設定した。また電極の pH を 2.8 に設定した。また電流密度を 46.8 mA/cm² に設定した。さらにパルス電流のデューティー比 (ON/OFF) を 400/1000 msec に設定した。またアノード側の電極には Fe 電極を用いた。

【0201】表 1 ないし表 7 の各メッキ浴組成でメッキ形成された CoFeNi 合金の軟磁気特性及び膜特性については以下の通りであった。

【0202】

【表 8】

Fe 組成	52.8 [質量%] 以上、53.2 [質量%] 以下
Co 組成	30.3 [質量%] 以上、32.2 [質量%] 以下
Bs	209~210
面粗さ	1.6 [nm] 以上、2.9 [nm] 以下
膜応力	212 [MPa] 以上、235 [MPa] 以下

【0203】表 8 は、表 1 の実験結果であり、すなわち Fe イオン濃度/Co イオン濃度の比率を 1.5 よりも小さくし、Fe イオン濃度/Ni イオン濃度を 2 よりも小さくした場合の実験結果である。

【0204】表 8 に示すように、CoFeNi 合金の F

32

表 7 に示されている。

【0198】

【表 7】

e の組成比は 52.8 質量% 以上で 53.2 質量% 以下になり、また Co の組成比は 30.3 質量% 以上で 32.2 質量% 以下になった。

【0205】また表 8 に示すように膜面の中心線平均粗さ Ra に関しては 1.6 nm 以上で 2.9 nm 以下になり良好な値を得ることができた。また 2.0 T 以上の飽和磁束密度 Bs を得ることができ、また値のバラツキも小さかった。ただし前記 Bs の最大値は 2.1 T であった。

【0206】表 8 において飽和磁束密度 Bs のバラツキが小さいのは Ra が 1.6 nm 以上で 2.9 nm 以下であることにより、結晶性が良いためと考えられる。しかし前記 Bs が 2.2 T を越えないのは、Fe 量が少ないことにあると考えられる。

【0207】

【表 9】

Fe 組成	52.3 [質量%] 以上、56.1 [質量%] 以下
Co 組成	30.7 [質量%] 以上、30.8 [質量%] 以下
Bs	207~214
面粗さ	2.9 [nm] 以上、3.5 [nm] 以下
膜応力	235 [MPa] 以上、291 [MPa] 以下

【0208】表 9 は、表 2 の実験結果であり、すなわち Fe イオン濃度/Co イオン濃度の比率を 1.5 以上とし、Fe イオン濃度/Ni イオン濃度を 2 よりも小さく

33

した場合の実験結果である。

【0209】表9に示すように、CoFeNi合金のFeの組成比は52.3質量%以上で56.1質量%以下になり、またCoの組成比は30.7質量%以上で30.8質量%以下になった。

【0210】また表9に示すように膜面の中心線平均粗さRaに関しては2.9nm以上で3.5nm以下になった。また飽和磁束密度Bsについては、2Tを越え、最大で2.14Tとなり表8の場合よりも大きくなった。しかし飽和磁束密度のバラツキが大きかった。飽和磁束密度Bsのバラツキが大きくなるのは、Raが2.9nm以上で3.5nm以下となり表8に比べて大きくなることにより、結晶性が低下したためと考えられる。また表8よりも飽和磁束密度が大きくなったのは、若干、Fe量が大きくなったためと考えられるが、依然としてFe不足から、飽和磁束密度Bsは2.2Tを越えないものと考えられる。

【0211】

【表10】

Fe 組成	58[質量%]以上、71[質量%]以下
Co 組成	23[質量%]以上、32[質量%]以下
Ni 組成	2[質量%]以上、20[質量%]以下
Bs	2.16[T]以上、2.25[T]以下
面粗さ	2.3[nm]以上、5[nm]以下
膜応力	18[MPa]以上、400[MPa]以下

【0212】表10は、表3の実験結果であり、すなわちFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で4以下とした場合の実験結果である。

【0213】表10に示すように、CoFeNi合金のFeの組成比は58質量%以上で71質量%以下になり、またCoの組成比は23質量%以上で32質量%以下になった。

【0214】また表10に示すように飽和磁束密度Bsは2.16T以上で2.25T以下であり、飽和磁束密度Bsが常に2.0Tを越えるばかりか2.15T以上の高い飽和磁束密度を得ることができた。

【0215】また膜面の中心線平均粗さRaは2.3nm以上で5nm以下になり、面粗れについても適切に抑制することができた。

【0216】このように表10では、2.15Tを越える非常に高い飽和磁束密度Bsが得られるばかりか、膜面の中心線平均粗さRaも5nm以下に抑えることができ、表8及び表9に比べて良好な結果が得られたので、本発明では、Feイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で4以下としたメッキ浴組成を好ましい組成範囲とすることとした。

34

【0217】

【表11】

Fe 組成	63.1[質量%]以上、67.5[質量%]以下
Co 組成	23.3[質量%]以上、28.3[質量%]以下
Ni 組成	42~136[質量%]
Bs	2.2[T]以上、2.25[T]以下
面粗さ	2.7[nm]以上、5[nm]以下
膜応力	168[MPa]以上、400[MPa]以下

【0218】表11は表4の実験結果であり、すなわちFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で3.4以下とした場合の実験結果である。

【0219】表11に示すように、Feの組成比は、63質量%以上で67.5質量%以下であり、またCoの組成比は23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、Niの組成比は4.2質量%以上で13.6質量%以下であった。

【0220】表11に示すように、飽和磁束密度Bsは、2.2T以上で2.25T以下であり、常に2.2T以上の高い飽和磁束密度Bsを得ることが可能なことがわかった。また膜面の中心線平均粗さRaも2.7nm以上で5nm以下であり、面粗れが小さかった。

【0221】よって本発明では、Feイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で3.4以下としたメッキ浴組成をより好ましい組成範囲とすることとした。

【0222】

【表12】

Fe 組成	63.0	64.6	67.5
Co 組成	25.5	26.5	23.3
Ni 組成	11.5	8.9	9.2
Bs	2.2[T]よりも大、2.25[T]以下		
面粗さ	2.7[nm]以上、5[nm]以下		
膜応力	329[MPa]以上、400[MPa]以下		

【0223】表12は表5の実験結果であり、すなわちFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.7以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で3.4以下とした場合の実験結果である。

【0224】表12に示すように、Feの組成比は、63質量%以上で67.5質量%以下であり、またCoの組成比は23.3質量%以上で26.5質量%以下であった。なおFe、Co、およびNiの各組成比は、三元図上においてFeの組成比が64.6質量%、Coの組成比が26.5質量%、Niの組成比が8.9質量%となる点、Feの組成比が63質量%、Coの組成比が25.5質量%、Niの組成比が11.5質量%となる

35

点、及びFeの組成比が67.5質量%、Coの組成比が23.3質量%、Niの組成比が9.2質量%となる点の計3点で囲まれた組成範囲内である。

【0225】表12に示すように、飽和磁束密度Bsは、2.2Tよりも大きく2.25T以下となり、表11の場合に比べて常に2.2Tよりも大きい飽和磁束密度Bsを得ることが可能なことがわかった。また膜面の中心線平均粗さRaも2.7nm以上で5nm以下であり、面粗れが小さかった。

【0226】よって本発明では、Feイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.7以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で3.4以下としたメッキ浴組成を最も好ましい組成範囲とすることとした。

【0227】

【表13】

Fe 組成	66.1 [質量%]
Co 組成	24.6 [質量%]
Bs	2.25 [T]
面粗さ	2.7 [nm]
膜応力	359 [MPa]

【0228】表13は表6の実験結果であり、すなわちFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.8とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を2以上で3以下とした場合の実験結果である。

【0229】表13に示すように、Feの組成比は、66.1質量%であり、またCoの組成比は24.6質量%であり、Niの組成比は9.3質量%であった。

【0230】表13に示すように、飽和磁束密度Bsは2.25Tと非常に高い飽和磁束密度を得ることができた。また膜面の中心線平均粗さRaも2.7nmであり、面粗れが小さかった。

【0231】

【表14】

Fe 組成	72 [質量%]
Co 組成	25.6 [質量%]
Ni 組成	2.4 [質量%]
Bs	2.15 [T]
面粗さ	5.4 [nm]
膜応力	387 [MPa]

【0232】表14は、表7の実験結果であり、すなわちFeイオン濃度/Coイオン濃度の比率を1.5以上とし、Feイオン濃度/Niイオン濃度を4よりも大きくした場合の実験結果である。

【0233】表14に示すように、CoFeNi合金のFeの組成比は72質量%であり、Coの組成比は25.6質量%、Niの組成比は2.4質量%であった。

【0234】表14に示すように飽和磁束密度Bsは

36

2.15Tとなり、2.0Tを越える高い飽和磁束密度Bsを得ることができたが、膜面の中心線平均粗さRaは5.4nmとなり、5nmよりも大きくなり面粗れが大きくなった。

【0235】面粗れが大きくなる理由については、表7のメッキ浴組成に示すようにFeイオン濃度/Niイオン濃度の比率が表1ないし表6の他のメッキ浴よりも高いことにあると考えられる。

【0236】Feイオン濃度がNiイオン濃度に比べて十分に大きい値であると、Feが優位に析出する異常析出となり、結晶粒径が粗大化し緻密な膜を形成できず膜面の面粗れが大きくなるものと考えられる。

【0237】また面粗れを抑制できるか否かについては、Feイオン濃度自体の大きさも大きく関与する。本発明では前記Feイオン濃度は、1.0g/l～2.0g/lであることが好ましい。なお従来ではFeイオン濃度は4.0g/l程度であった。本発明のようにFeイオン濃度を従来よりも低濃度にするすることで、攪拌効果を上げることができ、CoFeNi合金中に含まれるFe量を増やすことができると共に、結晶粒径を小さくでき緻密な膜を形成できて、面粗れを抑制することが可能である。

【0238】またメッキ浴中に2-ブチン-1,4ジオールを混入することにより、メッキ形成されたCoFeNi合金の結晶粒径の粗大化を抑制でき、前記結晶粒径が小さくなることで結晶間に空隙が生じ難くなり、膜面の面粗れを抑制することができる。

【0239】次に上記の実験で得られた各CoFeNi合金のFe量と軟磁気特性及び膜特性との関係を測定し、以下にまとめた。またNiFe合金についてもNiFe合金中に含まれるFe量と軟磁気特性及び膜特性との関係について調べた。また前記NiFe合金をCoFeNi合金をメッキ形成したときと同様の条件でパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成した。

【0240】図8はCoFeNi合金の組成比と飽和磁束密度Bsとの関係を示す三元図である。

【0241】図8に示すように、NiFe合金の飽和磁束密度Bsは（三元図のNi組成軸上）、いずれも1.9T以下であり、2.0Tを越えないことがわかる。また、特開平10-199726号公報の表2に示されたCoFeNi合金の組成比と飽和磁束密度Bsとの関係についても三元図上に△印で示した。

【0242】特開平10-199726号公報の表2に示されたCoFeNi合金は、Fe量が少なく最大でも30質量%程度であり、また飽和磁束密度Bsも最大で1.8T程度であり、2.0Tを越えていないことがわかる。

【0243】本発明では、今回の実験により、CoFeNi合金のFe量を50質量%以上にするにより、飽和磁束密度Bsを2.0T以上にできることがわかつ

37

た。

【0244】またFe量はあまり大きすぎると今度は結晶粒径の粗大化が顕著になり膜面の面粗れがひどくなると共に、飽和磁束密度Bsも低下する。Fe量が90質量%を越えると飽和磁束密度Bsが2.0Tを下回るということがわかった。

【0245】次にNi量については20質量%を越えると、飽和磁束密度Bsが2.0Tを下回ることがわかった。またNi量を最低限、2質量%加えないと、膜応力が非常に大きくなり膜剥がれが生じ易くなると共に、CoFeNi合金の表面に緻密な酸化膜としての不動態膜も形成されにくいことがわかった。

【0246】上記の実験結果から、本発明におけるCoFeNi合金の組成比を、図8の①の斜線内の範囲、すなわちCo量が8質量%以上で48質量%以下、Fe量が50質量%以上で90質量%以下、Ni量が2質量%以上で20質量%以下とした。この範囲内であれば、CoFeNi合金の飽和磁束密度Bsを2.0T以上にできる。

【0247】また本発明では、好ましい範囲として図8に示す②の一点鎖線で囲まれた組成範囲内とした。この組成範囲内は、既に説明した表3のメッキ浴組成で形成されたCoFeNi合金の組成範囲である。すなわちCo量が23質量%以上で32質量%以下、Fe量が58質量%以上で71質量%以下、Ni量が2質量%以上で20質量%以下である。この組成範囲内であると飽和磁束密度Bsを2.15T以上にでき、さらに高い飽和磁束密度Bsを得ることができる。

【0248】しかも結晶粒径の粗大化が抑制され緻密な膜が形成されるため、膜面の面粗れを適切に抑制でき、膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下に抑えることが可能になっている。

【0249】また本発明では、より好ましい範囲として図8に示す③の点線で囲まれた組成範囲内とした。この組成範囲内は、既に説明した表4のメッキ浴組成で形成されたCoFeNi合金の組成範囲である。すなわち前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素αの組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下である。この組成範囲内であると飽和磁束密度Bsを2.2T以上にでき、さらに高い飽和磁束密度Bsを得ることができる。

【0250】しかも結晶粒径の粗大化が抑制され緻密な膜が形成されるため、膜面の面粗れを適切に抑制でき、膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下に抑えることが可能になっている。

【0251】また本発明では、最も好ましい範囲として図8に示す④の点線で囲まれた組成範囲内とした。この組成範囲内は、既に説明した表5のメッキ浴組成で形成

38

されたCoFeNi合金の組成範囲である。すなわちCoの組成比X、Feの組成比Y、および元素αの組成比Zは(X、Y、Z)=(26.5質量%、64.6質量%、8.9質量%)、(25.5質量%、63質量%、11.5質量%)、(23.3質量%、67.5質量%、9.2質量%)の3点で囲まれる範囲内である。この組成範囲内であると飽和磁束密度Bsを2.2Tよりも大きくでき、さらに高い飽和磁束密度Bsを得ることができる。

【0252】しかも結晶粒径の粗大化が抑制され緻密な膜が形成されるため、膜面の面粗れを適切に抑制でき、膜面の中心線平均粗さRaを5nm以下に抑えることが可能になっている。

【0253】次に図8に示す①ないし④の組成範囲内で形成されたCoFeNi合金の他の軟磁気特性あるいは膜特性について図9以降で説明する。

【0254】図9は、CoFeNi合金の組成比と保磁力との関係を示す三元図である。図9に示す①ないし④の組成範囲内では保磁力Hcを158A/m以下に抑えることができることがわかった。この数値は、NiFe合金よりも大きくなるが、保磁力Hcを1580A/m以下に抑えることができれば、薄膜磁気ヘッドの磁極としてCoFeNi合金を使うにあたって問題は生じない。

【0255】図10はCoFeNi合金の組成比と比抵抗との関係を示す三元図である。図10に示す①ないし④の組成範囲内では、比抵抗を15μΩ・cm以上にできることがわかった。一方、NiFe合金はそれよりも高い比抵抗を得ることができ、具体的には35μΩ・cm以上の比抵抗を得ることができた。

【0256】このため既に説明したように、例えば図2の上部磁極層21には本発明におけるCoFeNi合金を使用し、上部コア層22にはNiFe合金を使用することで前記上部コア層22での渦電流損失を抑え、前記上部コア層22から上部磁極層21に磁束をスムーズに流すことができ、前記上部磁極層21への磁束の集約を適切に図ることが可能である。

【0257】図11はCoFeNi合金の組成比と膜応力との関係を示す三元図である。図11に示す①ないし④の組成範囲内では、膜応力を400mPa以下に抑えることができることがわかった。この数値は、NiFe合金よりも大きくなるが、膜応力を400mPa以下に抑えることができれば、薄膜磁気ヘッドの磁極としてCoFeNi合金を使うにあたって問題は生じない。

【0258】

【発明の効果】以上詳述した本発明では、 $\text{Co}_x\text{Fe}_y\alpha_z$ 合金のCoの組成比Xを、8質量%以上で48質量%以下とし、Feの組成比Yを、50質量%以上で90質量%以下とし、元素α（ただし元素αは、NiかCrの一方あるいは双方）の組成比Zを、2質量%以上で20

39

質量%以下とし、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことで、NiFe合金よりも高い2.0T以上の飽和磁束密度Bsを安定して得ることができる。

【0259】また本発明では、前記Coの組成比Xを23質量%以上で32質量%以下とし、Feの組成比Yを、58質量%以上で71質量%以下とし、元素Niの組成比Zを2質量%以上で20質量%以下とし、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことが好ましい。

【0260】また本発明では、前記Coの組成比Xは23.3質量%以上で28.3質量%以下であり、前記Feの組成比Yは、63質量%以上で67.5質量%以下であり、前記元素αの組成比Zは、4.2質量%以上で13.6質量%以下であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことがより好ましい。

【0261】また本発明では、Coの組成比X、Feの組成比Y、および元素αの組成比Zは $(X, Y, Z) = (26.5\text{質量}\%, 64.6\text{質量}\%, 8.9\text{質量}\%), (25.5\text{質量}\%, 63\text{質量}\%, 11.5\text{質量}\%), (23.3\text{質量}\%, 67.5\text{質量}\%, 9.2\text{質量}\%)$ の3点で囲まれる範囲内であり、組成比 $X + Y + Z = 100$ 質量%なる関係を満たすことが最も好ましい。

【0262】また本発明におけるCoFeα合金の場合、元素αは不動態膜を作るNiやCrであるため、前記CoFeα合金にNiFe合金を重ねてメッキ形成しても前記CoFeα合金がイオン化して溶け出す現象を防止することができる。

【0263】本発明では上記CoFeα合金を例えば薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することができる。これにより高記録密度化に優れた耐食性にも優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図2】図1の縦断面図、

【図3】本発明の第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図4】図3の縦断面図、

【図5】本発明の第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図6】本発明の第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図7】本発明の第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図8】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたCoFeNi合金とNiFe合金の組成比と飽和磁束密度との関係を示す三元図、

【図9】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたCoFeNi合金とNiFe合金の組成比と保磁力Hcとの関係を示す三元図、

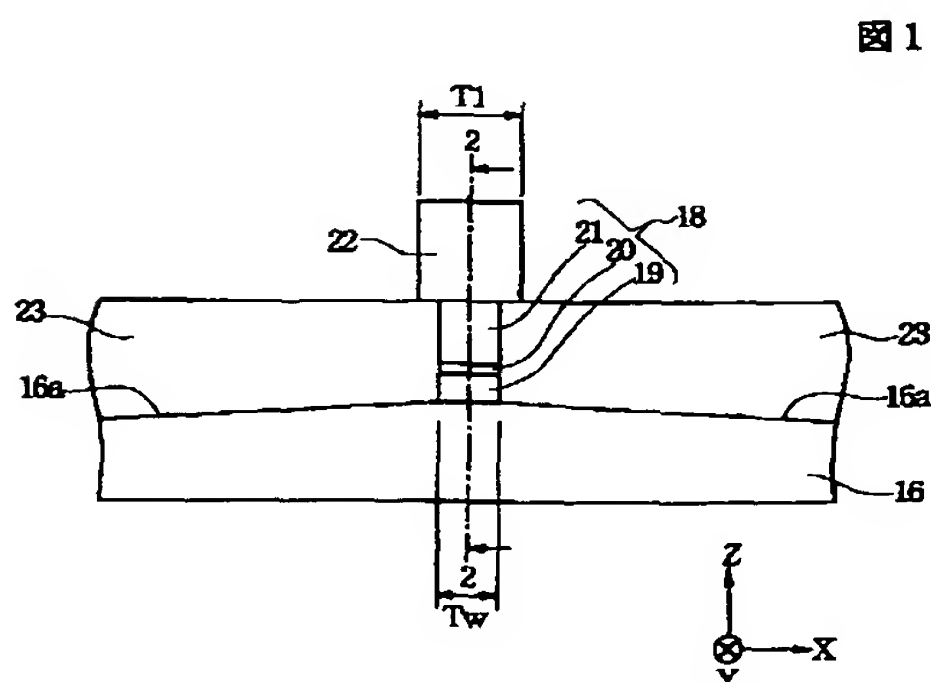
【図10】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたCoFeNi合金とNiFe合金の組成比と比抵抗との関係を示す三元図、

【図11】パルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたCoFeNi合金とNiFe合金の組成比と膜応力との関係を示す三元図、

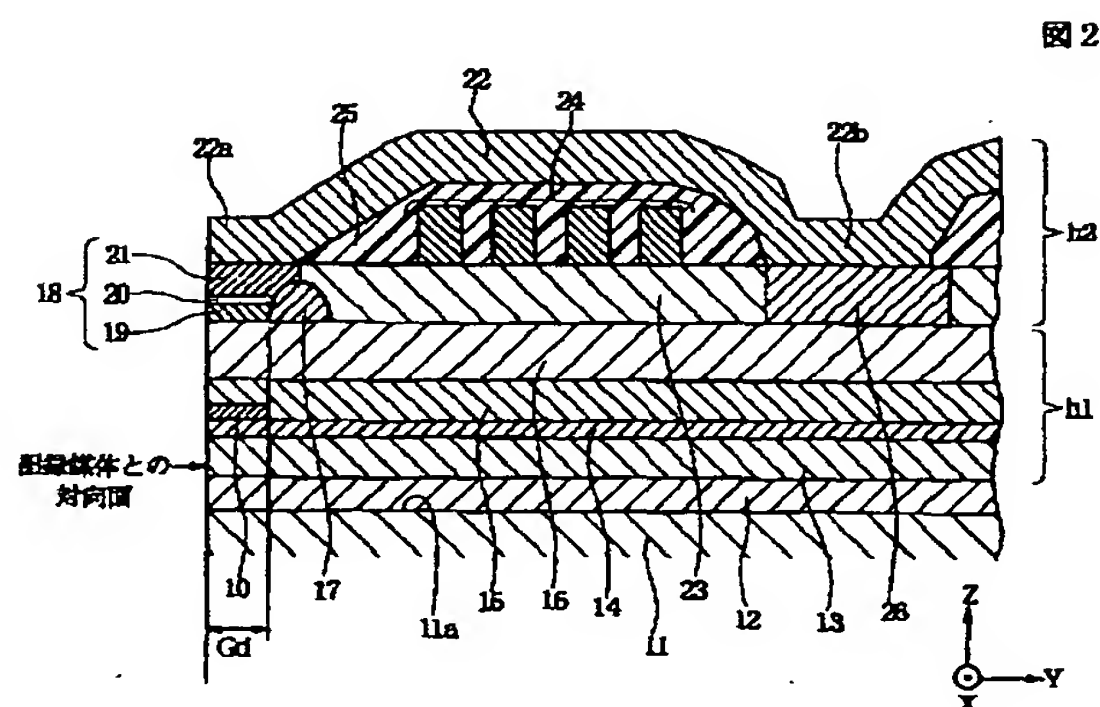
【符号の説明】

- 11 スライダ
- 10 磁気抵抗効果素子
- 16 下部コア層（上部シールド層）
- 18、30 磁極部
- 19、32、50 下部磁極層
- 20、33 ギャップ層
- 21、34 上部磁極層
- 22、40、46、55 上部コア層
- 41 磁気ギャップ層
- 47 高Bs層
- 48 上層

【図1】

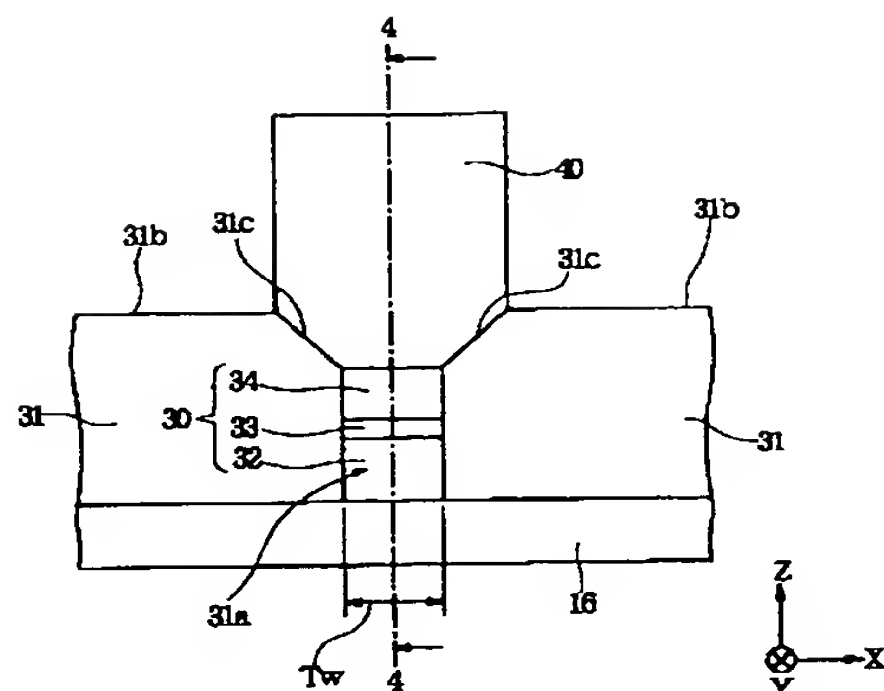


【図2】



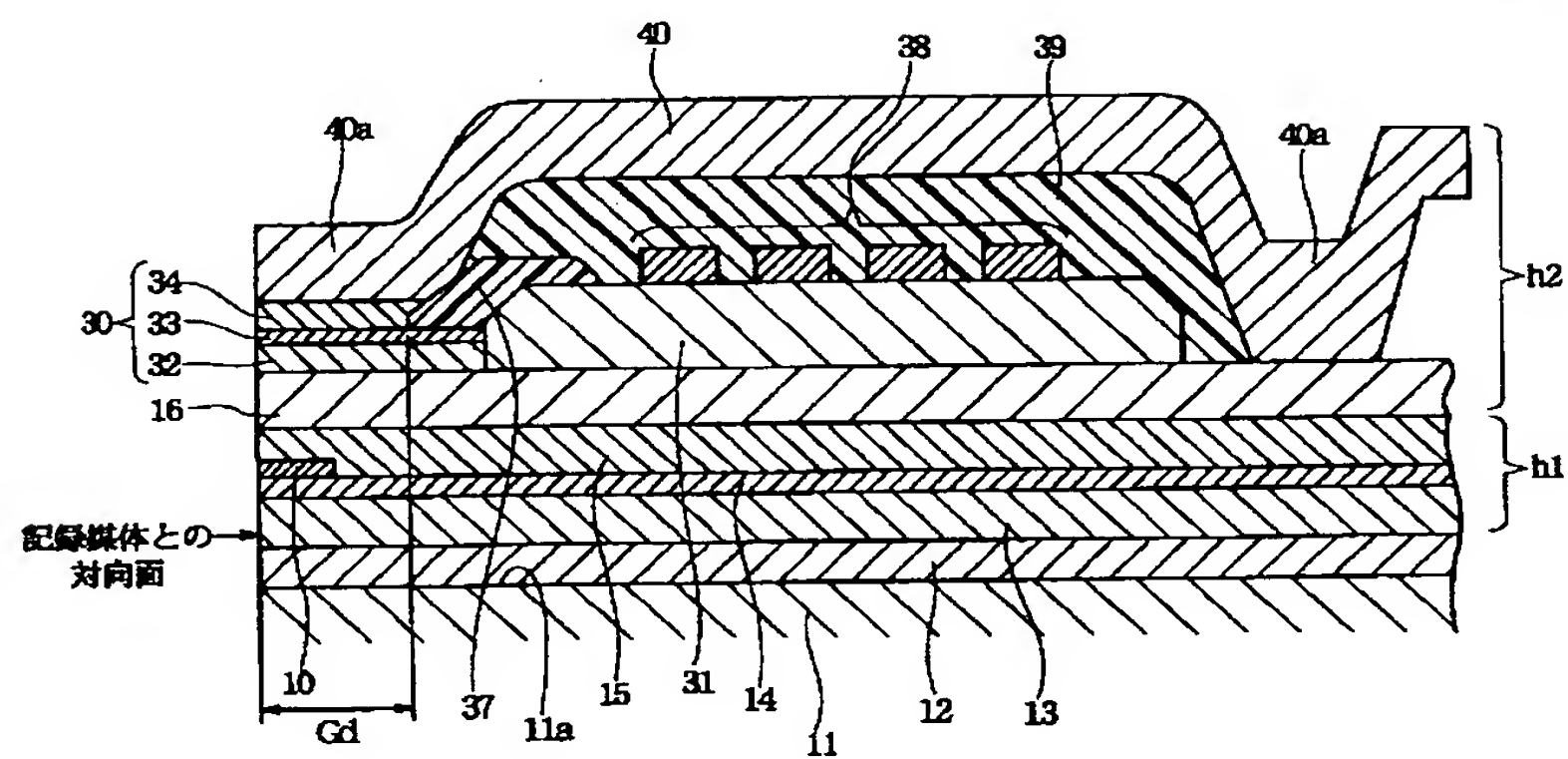
【図3】

図3



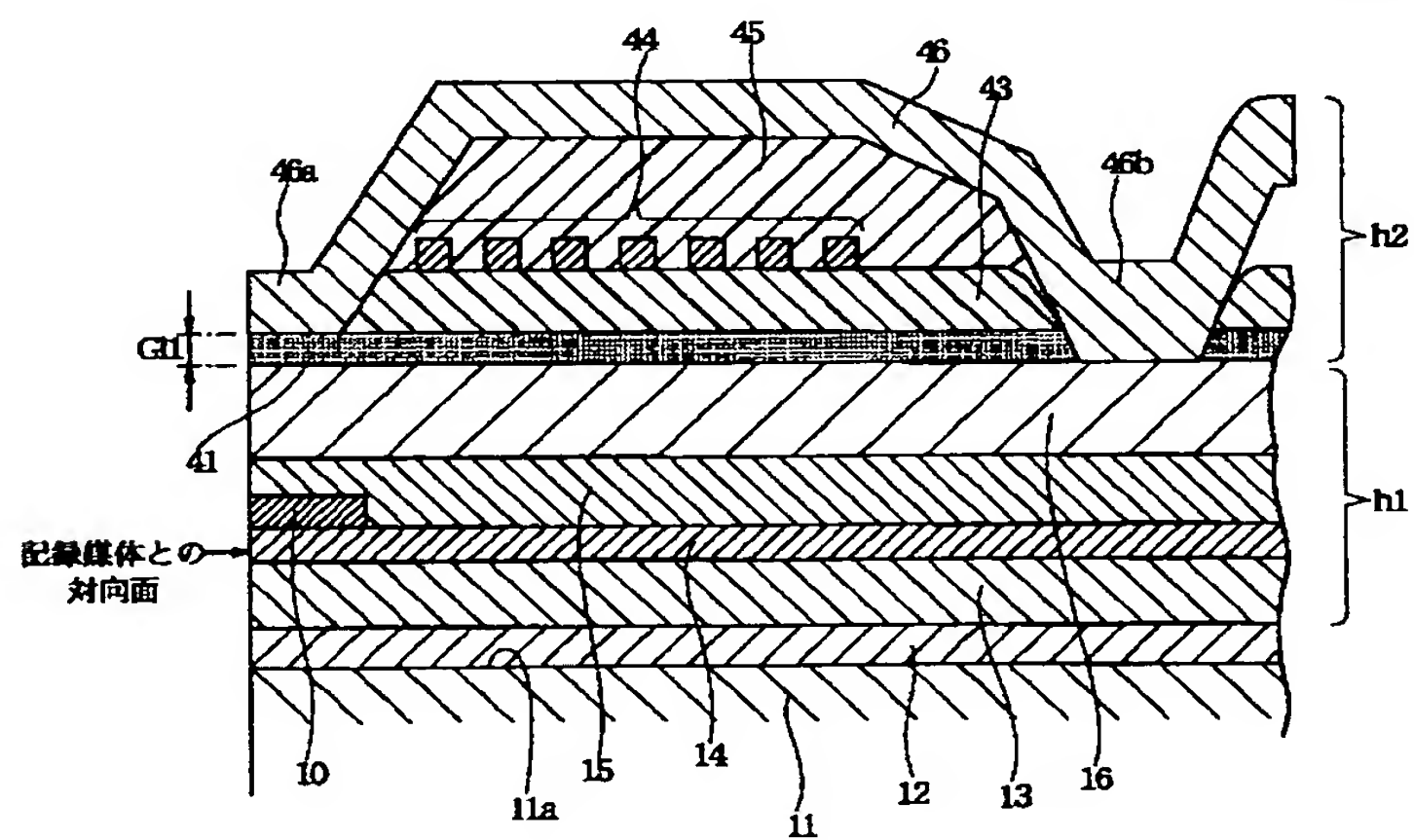
【図4】

図4



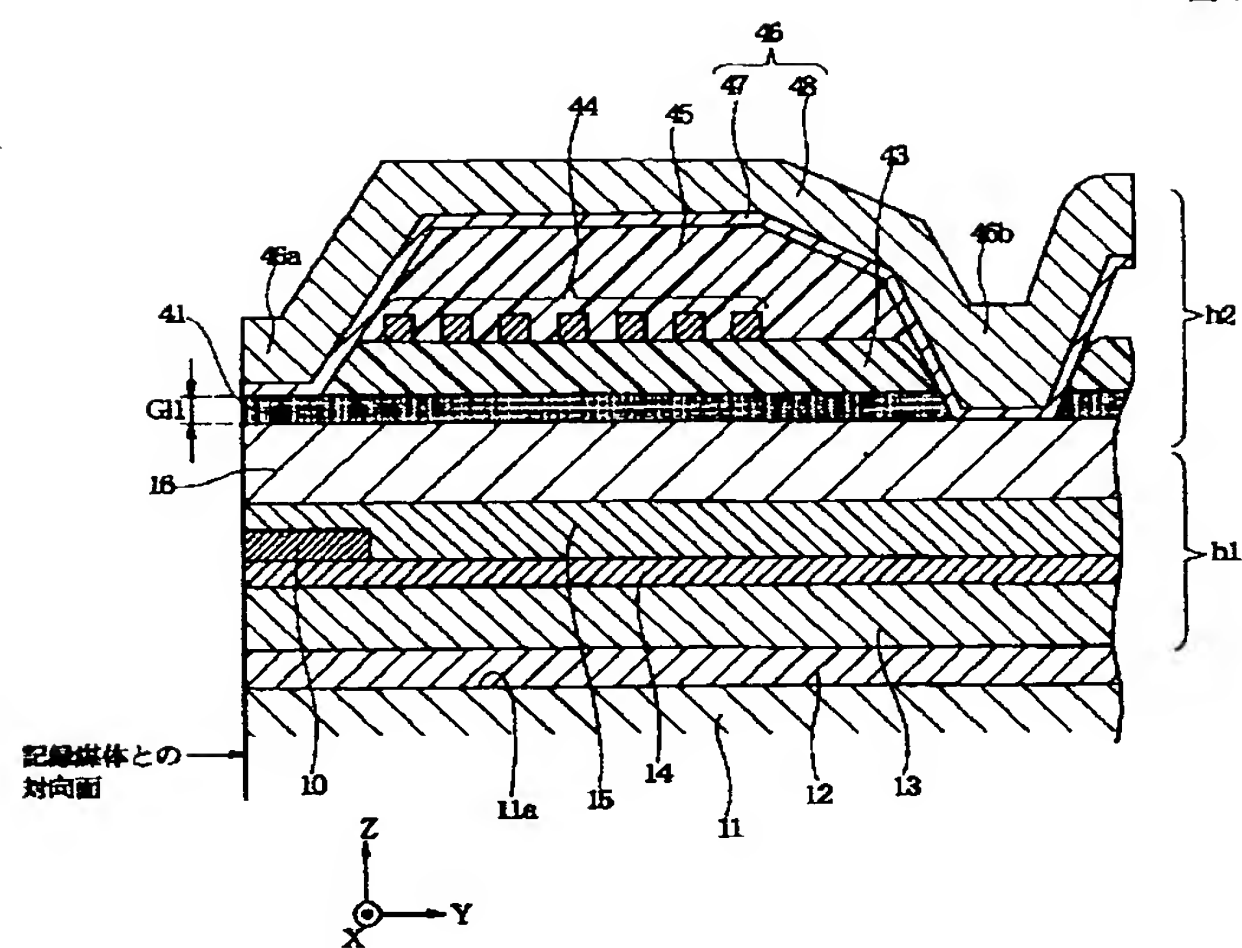
【図5】

図5



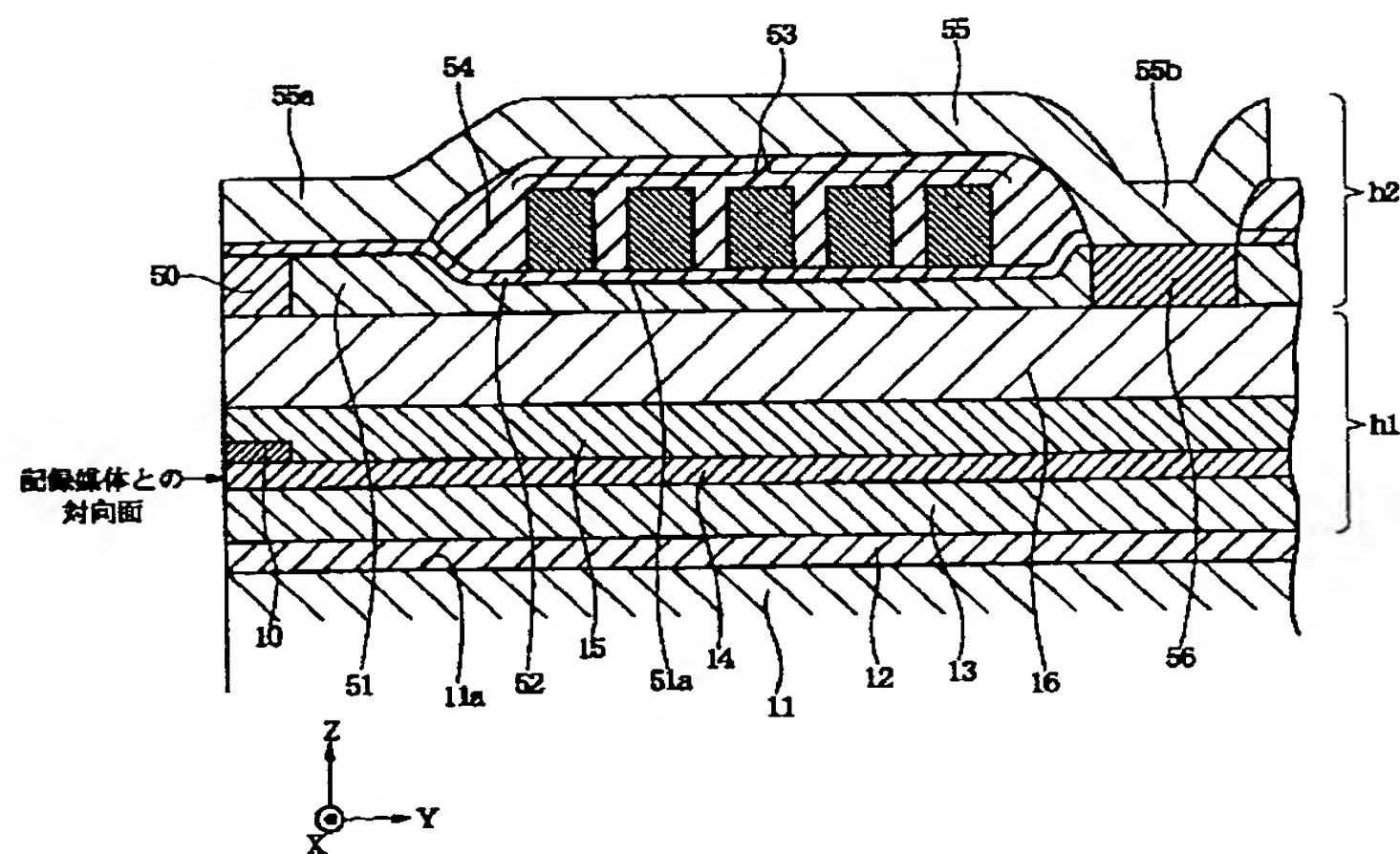
【図 6】

図 6



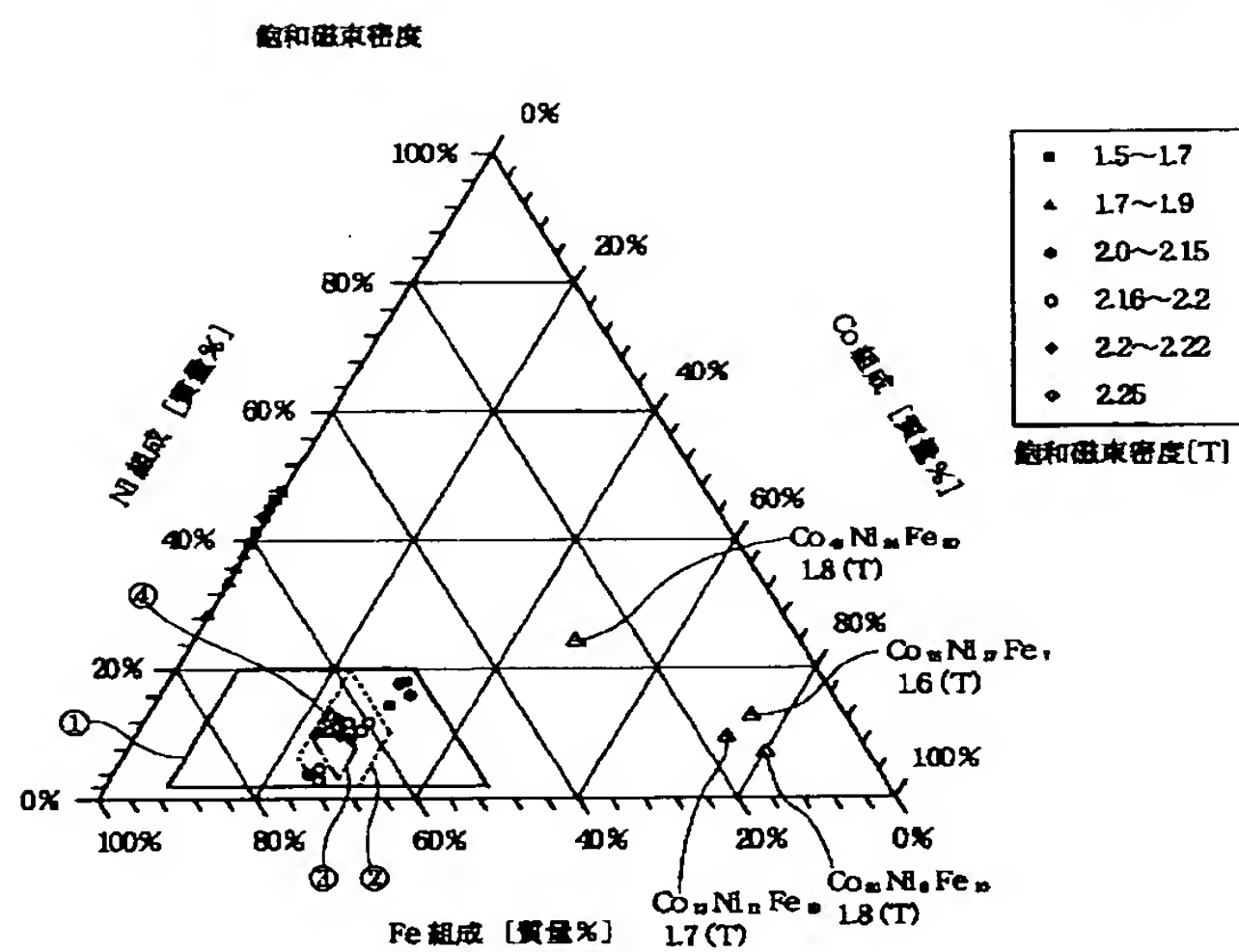
【図 7】

図 7



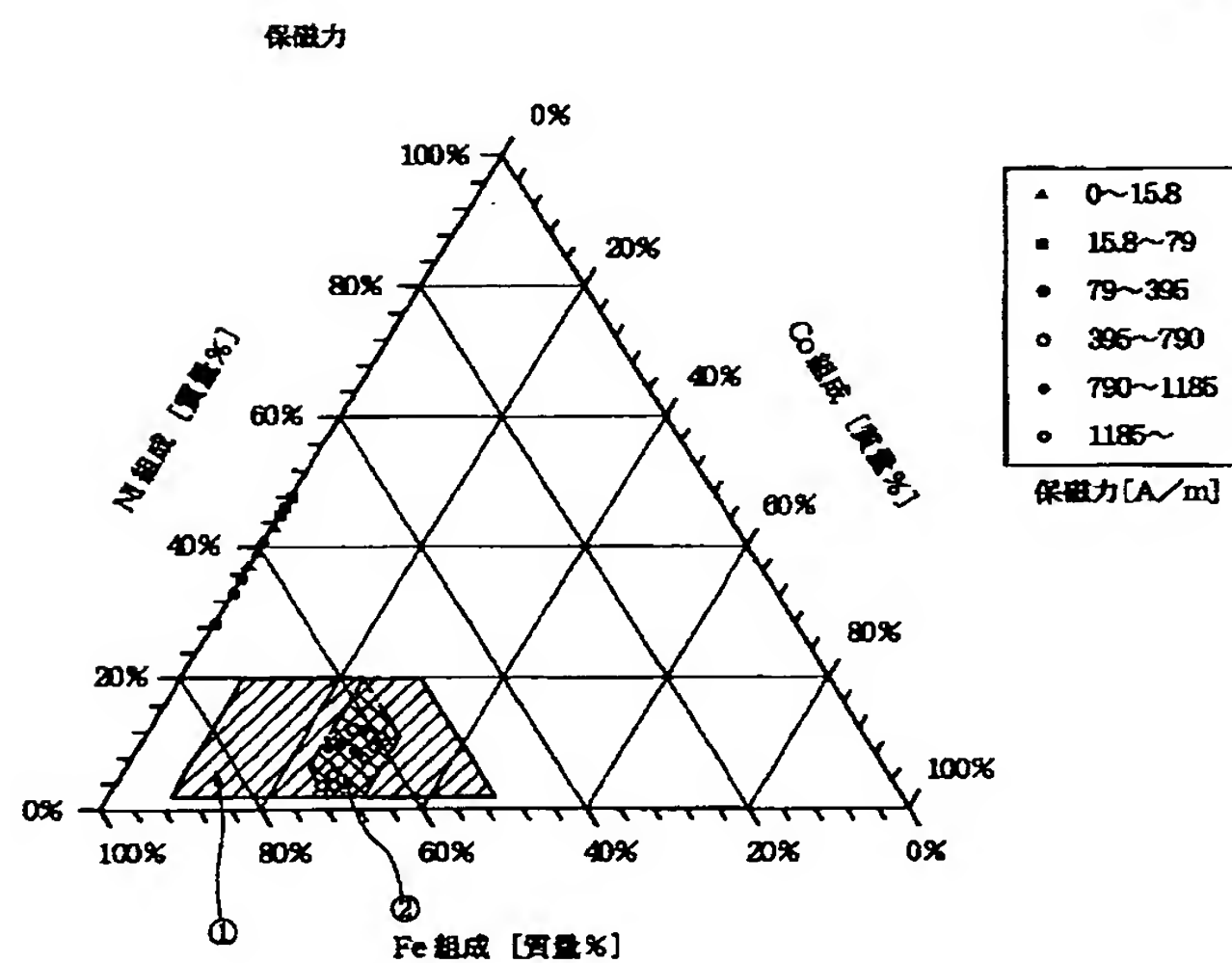
【図 8】

図 8



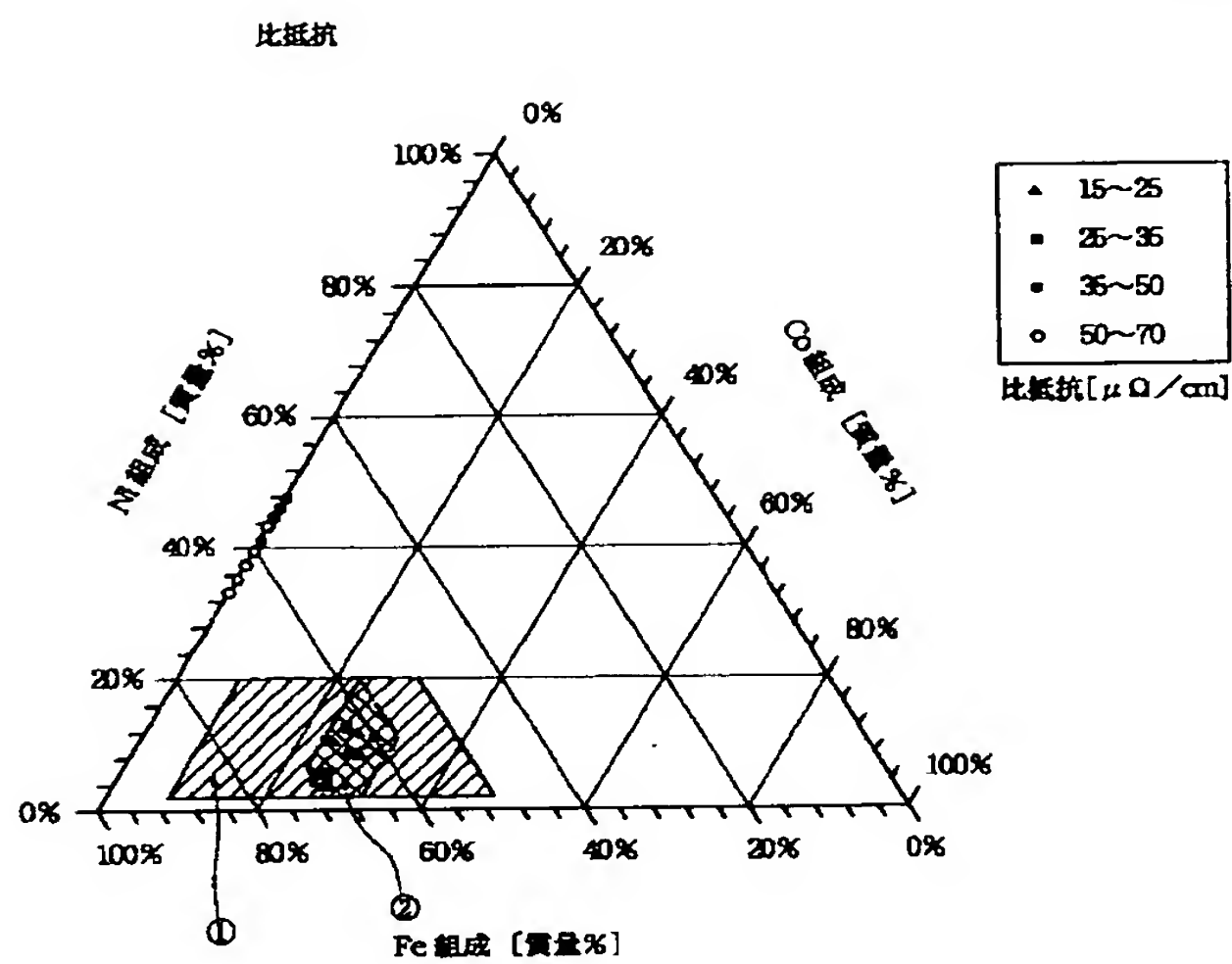
【図 9】

図 9



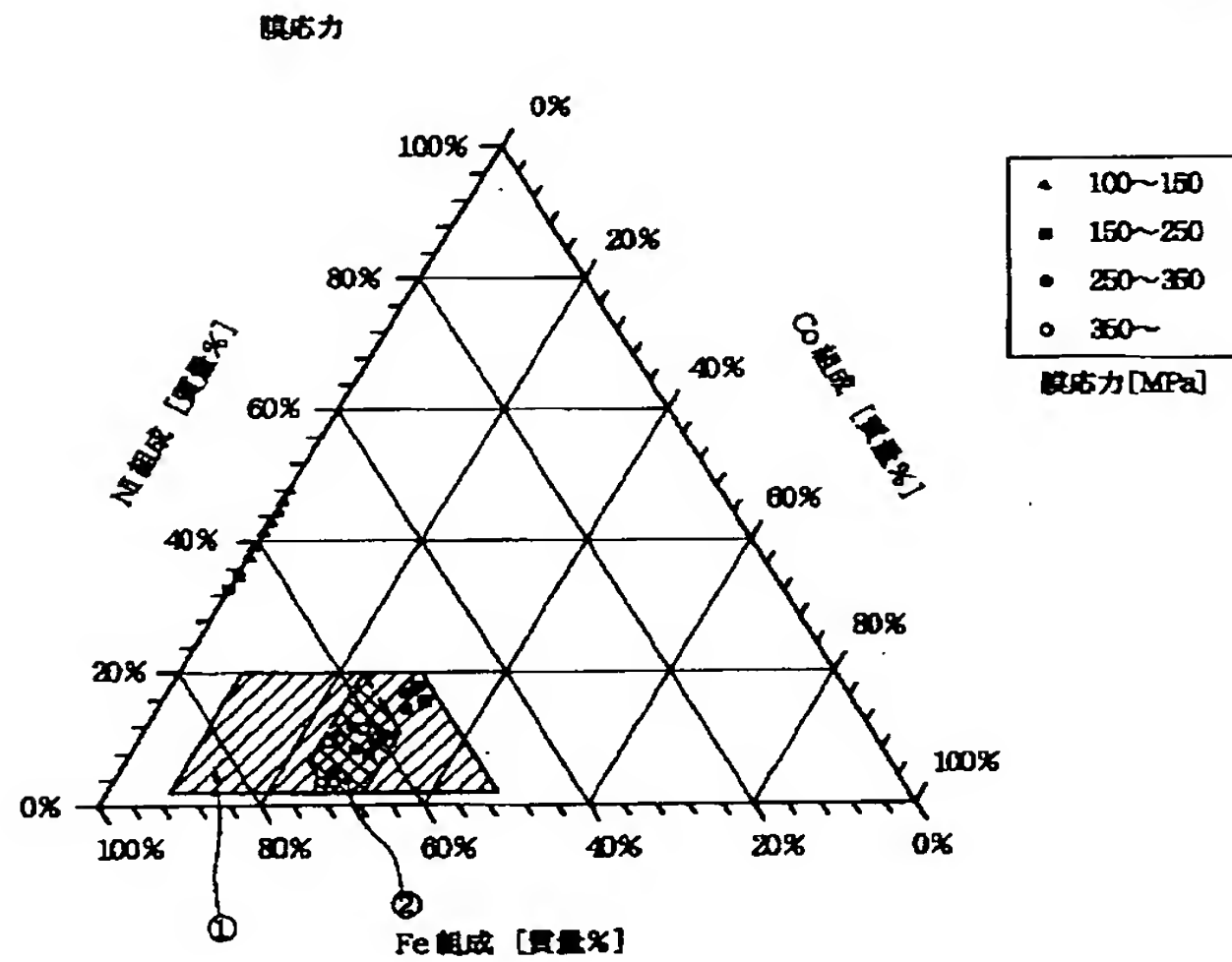
【図 10】

図 10



【図 11】

図 11



フロントページの続き

Fターム(参考) 5D033 BA03 BA08 BA12 CA01 CA06
DA04 DA31
5E049 AA01 AA09 AC05 BA12 CB02
DB12 LC02